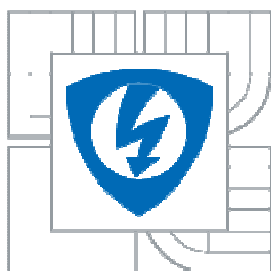




VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA ELEKTROTECHNIKY A KOMUNIKAČNÍCH
TECHNOLOGIÍ
ÚSTAV ELEKTROENERGETIKY

FACULTY OF ELECTRICAL ENGINEERING AND COMMUNICATION
DEPARTMENT OF ELECTRICAL POWER ENGINEERING

TVORBA ZNALOSTNÍ DATABÁZE PRO SVĚTELNOU TECHNIKU S MOŽNOSTÍ EXPERTNÍHO ZPRACOVÁNÍ DOTAZŮ

CREATION OF KNOWLEDGE DATABASE FOR LIGHTING TECHNOLOGY
WITH THE POSSIBILITY OF EXPERT QUERY PROCESSING

DISERTAČNÍ PRÁCE
DISSERTATION THESIS

AUTOR PRÁCE
AUTHOR

Ing. MICHAL KRBAL

VEDOUCÍ PRÁCE
SUPERVISOR

doc. Ing. PETR BAXANT, Ph.D.

Bibliografická citace práce:

KRBAL, M. *Tvorba znalostní databáze pro světelnou techniku s možností expertního zpracování dotazů*. Disertační práce. Brno: Ústav elektroenergetiky FEKT VUT v Brně, 2014. 216 stran. Vedoucí disertační práce doc. Ing. Petr Baxant, Ph.D.

Prohlašuji, že jsem svou disertační práci vypracoval samostatně a použil jsem pouze podklady citované buď přímo v textu nebo uvedené v seznamu literatury na konci práce.

V Brně dne 2014

.....

podpis autora práce

Poděkování

Děkuji všem, kteří mně při studiu a tvorbě této práce podporovali, radili mi, byli mi inspirací a umožnili mi využívat všech dostupných prostředků. Zvláště pak děkuji mému školiteli Petru Baxantovi za jeho opravdu nevšední přístup a pozitivní ovlivnění v životě nejen na úrovni vědecké, ale i duševní. Také mé velké poděkování patří Stanislavu Sumcovi za jeho pomoc a programátorské zkušenosti.

ABSTRAKT

Předložená práce tvoří komplexní návod pro tvorbu databázového systému určeného pro světelnou techniku. V práci jsou nejprve uvedeny důležité statické i dynamické parametry světelných zdrojů a svítidel, které jsou doplněny naměřenými hodnotami, relacemi a vzájemnými vazbami. Další kapitola je věnována popisu dosahovaných parametrů, konstrukčního řešení, historického a předpokládaného vývoje jednotlivých zástupců světelných zdrojů. Je zde popsán současný stav používaných datových formátů pro popis svítidel a možnosti popisu světelných zdrojů. Jako výsledek práce je vytvořen databázový systém pro sběr, třídění, vyhledávání a sofistikované porovnání parametrů světelných zdrojů a svítidel.

KLÍČOVÁ SLOVA: databáze; databázový systém; znalostní databáze; expertní systém; světelná technika; osvětlovací technika; světelný zdroj; svítidlo; osvětlovací soustava.

ABSTRACT

This presented thesis is focused on the complex description of creation the database system for the lighting. The important static and dynamic parameters of light sources and luminaires are listed in the first part of thesis. These parameters are complemented by the measured values and their relationships. The next chapters of thesis are focused to description of obtained parameters, structural design, historical and expected development of individual representatives of light sources. In the following sections are described current state of used data formats of luminaires and the possibilities for describing of light sources. The database systems are created as a result of this thesis. These databases are used for collecting, sorting, searching and sophisticate comparison of the parameters of light sources and luminaires.

KEYWORDS: Database; Database System; Knowledge Database; Expert System; Lighting Technology; Lighting; Light Source; Luminaire; Lighting System.

OBSAH

SEZNAM OBRÁZKŮ	7
SEZNAM TABULEK.....	13
SEZNAM SYMBOLŮ	15
SEZNAM ZKRATEK	17
1 ÚVOD DISERTAČNÍ PRÁCE.....	20
1.1 PŘEDMLUVA.....	20
1.2 POPIS SOUČASNÉHO STAVU V OBLASTI SVĚTELNÝCH ZDROJŮ A SVÍTIDEL	22
1.3 CÍLE DISERTACE	22
2 PARAMETRY SVĚTELNÝCH ZDROJŮ A SVÍTIDEL.....	25
2.1 STATICKÉ PARAMETRY SVĚTELNÝCH ZDROJŮ – SVĚTELNĚ-TECHNICKÉ	25
2.1.1 ZÁŘIVÝ A SVĚTELNÝ TOK.....	25
2.1.2 MĚRNÝ VÝKON.....	28
2.1.3 SVÍTIVOST A JEJÍ PROSTOROVÉ ROZLOŽENÍ U SVĚTELNÝCH ZDROJŮ	31
2.1.4 SPEKTRUM SVĚTELNÝCH ZDROJŮ	32
2.1.5 KOLORIMETRICKÉ VLASTNOSTI PRODUKOVANÉHO SVĚTLA.....	36
2.1.6 JAS	41
2.2 STATICKÉ PARAMETRY SVĚTELNÝCH ZDROJŮ – ELEKTRICKÉ	43
2.2.1 PARAMETRY NAPÁJENÍ.....	43
2.2.2 PŘEDŘADNÉ SYSTÉMY	50
2.2.3 ENERGETICKÉ ZTRÁTY PŘEDŘADNÝCH SYSTÉMŮ A ENERGETICKÝ ŠTÍTEK	53
2.3 STATICKÉ PARAMETRY SVĚTELNÝCH ZDROJŮ – OSTATNÍ	54
2.3.1 ŽIVOT SVĚTELNÝCH ZDROJŮ	55
2.3.2 KONSTRUKČNÍ PARAMETRY	59
2.3.3 SVĚTELNĚ-ELEKTRICKÉ STATICKÉ A PROVOZNÍ PARAMETRY SVĚTELNÝCH ZDROJŮ	63
2.3.4 PARAMETRY SVĚTELNÝCH ZDROJŮ PRO OSVĚTLOVÁNÍ ROSTLIN	68
2.3.5 SVĚTELNÉ ZDROJE A ŽIVOTNÍ PROSTŘEDÍ	74
2.3.6 ELEKTROMAGNETICKÁ KOMPATIBILITA SVĚTELNÝCH ZDROJŮ A SVÍTIDEL - EMC	78
2.4 DYNAMICKÉ PARAMETRY SVĚTELNÝCH ZDROJŮ.....	80
2.4.1 NÁBĚH SVĚTELNÝCH ZDROJŮ	80
2.4.2 STÁLOST OSVĚTLENÍ, KOLÍSÁNÍ SVĚTELNÉHO TOKU, MÍHÁNÍ	85
2.4.3 ZMĚNA PROVOZNÍCH PARAMETRŮ SVĚTELNÝCH ZDROJŮ V ZÁVISLOSTI NA POLOZE.....	87
2.4.4 VLIV TEPLoty NA ZMĚNU PROVOZNÍCH PARAMETRŮ SVĚTELNÝCH ZDROJŮ	90
2.4.5 DYNAMICKÉ VA CHARAKTERISTIKY	94
2.4.6 SIMULACE DYNAMICKÝCH PROVOZNÍCH PARAMETRŮ SVĚTELNÝCH ZDROJŮ.....	95
2.5 VLASTNOSTI SVÍTIDEL	101
2.5.1 SVĚTELNĚ-TECHNICKÉ VLASTNOSTI	101
2.5.2 ELEKTROTECHNICKÉ VLASTNOSTI	104
2.5.3 PROVOZNĚ-TECHNICKÉ VLASTNOSTI	105
2.5.4 TRŽDĚNÍ SVÍTIDEL.....	108
2.6 PARAMETRY OSTATNÍ	111
2.6.1 AKTUÁLNOST	112
2.6.2 VĚROHODNOST INFORMACE.....	112

2.7 PŘEHLED PARAMETRŮ	113
3 SVĚTELNÉ ZDROJE	117
3.1 OBLOUKOVÉ SVĚTLO	118
3.2 TEPLOTNÍ SVĚTELNÉ ZDROJE.....	119
3.2.1 OBYČEJNÁ ŽÁROVKA	120
3.2.2 HALOGENOVÁ ŽÁROVKA.....	124
3.3 VÝBOJOVÉ ZDROJE.....	128
3.3.1 SODÍKOVÁ NÍZKOTLAKÁ VÝBOJKA	131
3.3.2 TRUBICE PLNĚNÉ PLYNEM.....	133
3.3.3 DOUTNAVKA	135
3.3.4 LINEÁRNÍ ZÁŘIVKA	136
3.3.5 KOMPAKTNÍ ZÁŘIVKA	140
3.3.6 INDUKČNÍ NÍZKOTLAKÁ VÝBOJKA (BEZLEKTRODOVÁ ZÁŘIVKA).....	143
3.3.7 RTUŤOVÁ VYSOKOTLAKÁ VÝBOJKA	145
3.3.8 SMĚSOVÁ VÝBOJKA.....	147
3.3.9 HALOGENIDOVÁ VÝBOJKA.....	149
3.3.10 SODÍKOVÁ VYSOKOTLAKÁ VÝBOJKA	152
3.3.11 SIRNÁ VÝBOJKA	155
3.3.12 XENONOVÁ VÝBOJKA A VÝBOJKA S KRÁTKÝM OBLOUKEM	157
3.4 LUMINISCENČNÍ SVĚTELNÉ ZDROJE	159
3.4.1 LED - SVĚTELNÉ DIODY	159
3.4.2 OLED – ORGANICKÉ SVĚTELNÉ DIODY	170
3.4.3 ELEKTROLUMINISCENČNÍ PANELY	171
3.4.4 KATODOVÉ TRUBICE	171
3.4.5 VFD ZOBRAZOVAČE.....	172
3.5 SHRNUÍ KAPITOLY	173
3.5.1 HISTORICKÝ VÝVOJ A PREDIKCE BUDOUCÍHO VÝVOJE	174
4 VHODNÉ ZPŮSOBY PRO POPIS SVĚTELNÝCH ZDROJŮ A SVÍTIDEL	175
4.1 V SOUČASNOSTI POUŽÍVANÉ FORMÁTY	175
4.1.1 DATOVÝ FORMÁT IES	175
4.1.2 DATOVÝ FORMÁT TM14: CIBSE	178
4.1.3 DATOVÝ FORMÁT EULUMDAT	178
4.1.4 DATOVÝ FORMÁT CEN	180
4.1.5 EDITORY DATOVÝCH FORMÁTŮ	181
4.2 POŽADAVKY NA NOVĚ VYTVOŘENÉ DATOVÉ FORMÁTY	182
4.2.1 PARAMETRY DATOVÝCH FORMÁTŮ	182
4.2.2 NADČASOVOST	182
4.2.3 VÝBĚR VHODNÉHO DATOVÉHO MÉDIA	183
4.3 ZÁZNAM DAT V PROSTŘEDÍ MICROSOFT EXCEL	185
4.4 ZPŮSOB ZÁZNAMU DAT ZA POMOCÍ DATABÁZOVÝCH A EXPERTNÍCH SYSTÉMŮ	186
4.4.1 DATABÁZE A DATABÁZOVÉ SYSTÉMY	187
4.4.2 EXPERTNÍ SYSTÉMY VŠEOBECNĚ	188
4.4.3 POUŽITÍ EXPERTNÍCH SYSTÉMŮ VE SVĚTELNÉ TECHNICE	188
5 DATABÁZOVÉ SYSTÉMY S MOŽNOSTÍ EXPERTNÍHO ZPRACOVÁNÍ DOTAZŮ	192
5.1 ZADÁVÁNÍ A EDITACE DAT V PROSTŘEDÍ MICROSOFT EXCEL	192

5.1.1 EDITACE ZÁZNAMŮ SVĚTELNÝCH ZDROJŮ	192
5.1.2 EDITACE ZÁZNAMŮ SVÍTIDEL	196
5.2 VÝVOJOVÉ PROSTŘEDÍ DATABÁZOVÉHO SYSTÉMU V PROSTŘEDÍ MS VISUAL STUDIO	197
5.3 DATABÁZOVÝ SYSTÉM SVĚTELNÝCH ZDROJŮ	198
5.3.1 GRAFICKÉ PROSTŘEDÍ DATABÁZOVÉHO SYSTÉMU SVĚTELNÝCH ZDROJŮ	198
5.3.2 ZOBRAZENÍ PARAMETRŮ	199
5.3.3 AKTUALIZACE A VĚROHODNOST PARAMETRŮ	199
5.3.4 VYHLEDÁVÁNÍ A SELEKCE PARAMETRŮ	200
5.4 DATABÁZOVÝ SYSTÉM SVÍTIDEL	200
5.4.1 GRAFICKÉ PROSTŘEDÍ DATABÁZOVÉHO SYSTÉMU SVÍTIDEL	201
5.4.2 ZOBRAZENÍ PARAMETRŮ	201
5.4.3 AKTUALIZACE A VĚROHODNOST PARAMETRŮ	202
5.4.4 VYHLEDÁVÁNÍ A SELEKCE PARAMETRŮ	202
5.5 VZÁJEMNÉ PROVÁZÁNÍ A EXPORT DAT	202
5.5.1 EXPORT DAT MEZI DATABÁZÍ SVĚTELNÝCH ZDROJŮ A DATABÁZÍ SVÍTIDEL	202
5.5.2 VZÁJEMNÉ GRAFICKÉ POROVNÁNÍ PARAMETRŮ SVĚTELNÝCH ZDROJŮ	203
5.5.3 STATISTICKÉ A HROMADNÉ VYHODNOCENÍ PARAMETRŮ SVĚTELNÝCH ZDROJŮ	204
5.5.4 VZÁJEMNÉ GRAFICKÉ POROVNÁNÍ PARAMETRŮ SVÍTIDEL	204
5.5.5 EXPORT DAT Z DATABÁZOVÉHO SYSTÉMU SVÍTIDEL DO NADSTAVBOVÝCH PROGRAMŮ	205
5.5.6 VYUŽITÍ DATABÁZOVÉHO SYSTÉMU PRO SBĚR MÉNĚ ČASTĚJI UVÁDĚNÝCH PARAMETRŮ SVĚTELNÝCH ZDROJŮ	206
6 ZÁVĚR	208
6.1 PŘÍNOS PRÁCE	209
POUŽITÁ LITERATURA	211

SEZNAM OBRÁZKŮ

<i>Obr. 2-1</i> Křivka poměrné spektrální citlivosti oka pro fotopické vidění	26
<i>Obr. 2-2</i> Předpokládaný vývoj měrného výkonu u světelných zdrojů pro interní osvětlení	29
<i>Obr. 2-3</i> Historický vývoj dosahovaného měrného výkonu u světelných zdrojů	30
<i>Obr. 2-4</i> Čára svítivosti v polárních a kartézských souřadnicích pro světelnou diodu Osram Oslon SSL.....	31
<i>Obr. 2-5</i> Ukázka spektrálních distribucí kompaktních zářivek Osram Dulux uvedených v katalogu výrobce.....	34
<i>Obr. 2-6</i> Ukázka spekter světelných zdrojů uváděných v katalogích firmy Philips	35
<i>Obr. 2-7</i> Ukázka vlivu šířka pásma na spektrální distribuci u sirné výbojky Luxim Lifi 300 W... 35	
<i>Obr. 2-8</i> Spektrální distribuce u zářivek s rozdílnou náhradní teplotou chromatičnosti.....	35
<i>Obr. 2-9</i> Čára teplotních zdrojů zakreslená s souřadnicích x , y s vyznačenými čarami konstantních chromatičností.....	36
<i>Obr. 2-10</i> Trichromatický souřadnicový systém RGB.....	37
<i>Obr. 2-11</i> Trichromatický trojúhelník systému XYZ - CIE 1931.....	39
<i>Obr. 2-12</i> Jasová mapa získaná programem LumiDISP.....	42
<i>Obr. 2-13</i> Jasová mapa (distribuce) světelných diod.....	42
<i>Obr. 2-14</i> Časový průběh odebíraného proudu u indukčních zářivek.....	47
<i>Obr. 2-15</i> Odebíraný proud 150 W ind. zářivkou v plošném provedení bez vstupního filtru.....	48
<i>Obr. 2-16</i> Odebíraný proud 40 W indukční zářivkou v plošném provedení bez VF tlumivky.....	48
<i>Obr. 2-17</i> Funkční schéma elektronického měniče pro kompaktní zářivky.....	51
<i>Obr. 2-18</i> Předřadný systém s aktivní filtrací.....	52
<i>Obr. 2-19</i> Závislost měr. výkonu u zářivkových trubíc na napájecí frekvenci.....	52
<i>Obr. 2-20</i> Systém elektronického žhavení a zapalování zářivkových trubíc.....	53
<i>Obr. 2-21</i> Příklad energetického štítu pro světelné zdroje a svítidla	54
<i>Obr. 2-22</i> Střední doba života teplotních zdrojů v závislosti na napájecím napětí.....	55
<i>Obr. 2-23</i> Závislost střední doby života zářivky na čestnosti spínání	56
<i>Obr. 2-24</i> Střední doba života světelných diod v závislosti na teplotě PN přechodu.....	57
<i>Obr. 2-25</i> Patice světelných zdrojů s Edisonovým závitem	61
<i>Obr. 2-26</i> Ostatní patice světelných zdrojů A.....	61
<i>Obr. 2-27</i> Ostatní patice světelných zdrojů B.....	62
<i>Obr. 2-28</i> Závislost dosahovaného měrného výkonu na jmenovitém příkonu světelných zdrojů.. 64	
<i>Obr. 2-29</i> Grafická závislost dosahovaného měrného výkonu na jmenovitém příkonu světelných zdrojů v logaritmickém měřítku	65

<i>Obr. 2-30</i>	<i>Relace mezi indexem podání barev a měrným výkonem u světelných zdrojů</i>	<i>65</i>
<i>Obr. 2-32</i>	<i>Relace mezi střední dobou života sv. zdrojů a dosahovaného měrného výkonu</i>	<i>66</i>
<i>Obr. 2-32</i>	<i>Míra zastoupení jmenovitých hodnot příkonu u světelných zdrojů</i>	<i>66</i>
<i>Obr. 2-33</i>	<i>Zastoupení vypočtených hodnot měrného výkonu u světelných zdrojů</i>	<i>67</i>
<i>Obr. 2-34</i>	<i>Křížová charakteristika světelné diody CREE XP-E a OSRAM Oslon SSL</i>	<i>67</i>
<i>Obr. 2-35</i>	<i>Ampér-voltové charakteristiky světelných diod v poměrných i abs. hodnotách</i>	<i>68</i>
<i>Obr. 2-36</i>	<i>Počet dostupných kompaktních zářivek s danými parametry</i>	<i>68</i>
<i>Obr. 2-37</i>	<i>Spektrální citlivost rostlin</i>	<i>69</i>
<i>Obr. 2-38</i>	<i>Závislost intenzity ozáření na vzdálenosti svítidla od ozařované plochy</i>	<i>72</i>
<i>Obr. 2-39</i>	<i>Závislost provozních veličin na řídicím napětí u zářivky OSRAM L 36W/77 Flora</i>	<i>73</i>
<i>Obr. 2-40</i>	<i>Závislost provozních veličin na řídicím napětí u světelné diody CREE XM-L</i>	<i>74</i>
<i>Obr. 2-41</i>	<i>Obsah rtuti v lineárních a kompaktních zářivkách</i>	<i>76</i>
<i>Obr. 2-42</i>	<i>Obsah rtuti ve vysokotlakých výbojkách</i>	<i>77</i>
<i>Obr. 2-43</i>	<i>Spektrum elektromagnetického záření produkované indukční výbojkou plošného provedení 40W S-40/RR</i>	<i>78</i>
<i>Obr. 2-44</i>	<i>Distribuce elektrického a magnetického pole v okolí indukční zářivky 40W S-40/RR</i>	<i>79</i>
<i>Obr. 2-45</i>	<i>Distribuce elektrického a magnetického pole v okolí indukční zářivky BLJDY-135</i>	<i>79</i>
<i>Obr. 2-46</i>	<i>Distribuce elektromagnetického pole v okolí sítě výbojky Lifit 300 W</i>	<i>79</i>
<i>Obr. 2-47</i>	<i>Náběh světelného toku u světelné diody CREE XM-L</i>	<i>81</i>
<i>Obr. 2-48</i>	<i>Průběh startu lineární zářivky OSRAM Lumilux T8 18W/830 při použití indukčního a elektronického předřadného systému</i>	<i>81</i>
<i>Obr. 2-49</i>	<i>Náběh světelného toku u indukčních zářivek</i>	<i>82</i>
<i>Obr. 2-50</i>	<i>Průběh náběhu světelného toku u rtuťové výbojky</i>	<i>83</i>
<i>Obr. 2-51</i>	<i>Náběh halogenidové výbojky s vývojem spektrální distribuce</i>	<i>84</i>
<i>Obr. 2-52</i>	<i>Náběh světelného toku u běžné žárovky 40 W / 230 V</i>	<i>85</i>
<i>Obr. 2-53</i>	<i>Časový průběh světelného toku u indukčních zářivek</i>	<i>86</i>
<i>Obr. 2-54</i>	<i>Výbojová dráha halogenidové výbojky Tesla RW 400 W</i>	<i>88</i>
<i>Obr. 2-55</i>	<i>Výbojová dráha halogenidové výbojky Osram MH 400 W</i>	<i>88</i>
<i>Obr. 2-56</i>	<i>Závislost změny provozních parametrů na změně polohy u hal. výbojky</i>	<i>89</i>
<i>Obr. 2-57</i>	<i>Oteplovací charakteristiky jednotlivých funkčních částí sítě výbojky Lifit 300 W</i>	<i>91</i>
<i>Obr. 2-58</i>	<i>Termosnímek svítidla vybaveného světelnými diodami</i>	<i>91</i>
<i>Obr. 2-59</i>	<i>Oteplovací a ochlazovací charakteristika světelné diody a předřadného systému</i>	<i>92</i>
<i>Obr. 2-60</i>	<i>Ampér-voltová charakteristika světelné diody v závislosti na teplotě</i>	<i>93</i>
<i>Obr. 2-61</i>	<i>Výkonová charakteristika světelné diody v závislosti na teplotě</i>	<i>93</i>

<i>Obr. 2-62</i>	<i>Závislost produkce světelného toku v závislosti na teplotě u světelné diody.</i>	<i>93</i>
<i>Obr. 2-63</i>	<i>Závislost měř. výkonu světelné diody na velikosti proudu a teplotě PN přechodu.</i>	<i>94</i>
<i>Obr. 2-64</i>	<i>Dynamická voltampérová charakteristika halogenidové výbojky.</i>	<i>94</i>
<i>Obr. 2-65</i>	<i>Vodivostní model VT výbojky v programu MATLAB Simulink.</i>	<i>96</i>
<i>Obr. 2-66</i>	<i>Časový průběh napětí na výbojové dráze u vysokotlakých výbojek.</i>	<i>97</i>
<i>Obr. 2-67</i>	<i>Náhradní schéma vysokotlaké výbojky s indukčním předřadníkem.</i>	<i>97</i>
<i>Obr. 2-68</i>	<i>Vodivostní model VT výbojky s indukčním předřadným systémem.</i>	<i>98</i>
<i>Obr. 2-69</i>	<i>Provozní parametry vysokotlakých výbojek A.</i>	<i>98</i>
<i>Obr. 2-69</i>	<i>Provozní parametry vysokotlakých výbojek B.</i>	<i>99</i>
<i>Obr. 2-70</i>	<i>VACH VT rtuťové výbojky 400 W s R a RL předřadníkem.</i>	<i>99</i>
<i>Obr. 2-71</i>	<i>Dynamické VACH VT rtuťové výbojky 400 W v závislosti na napájecí frekvenci.</i>	<i>100</i>
<i>Obr. 2-72</i>	<i>Symetrie polorovin pro různé symetrie svítidla.</i>	<i>101</i>
<i>Obr. 3-1</i>	<i>Dělení umělých světelných zdrojů.</i>	<i>117</i>
<i>Obr. 3-2</i>	<i>Jabločkovova svíčka.</i>	<i>119</i>
<i>Obr. 3-3</i>	<i>Oblouková lampa.</i>	<i>119</i>
<i>Obr. 3-4</i>	<i>Spektrum vyzařovaného záření černých těles podle zákona Plancka.</i>	<i>119</i>
<i>Obr. 3-5</i>	<i>Konstrukce obyčejné žárovky.</i>	<i>121</i>
<i>Obr. 3-6</i>	<i>Závislost dosahovaného měrného výkonu na jmenovitém příkonu u žárovek.</i>	<i>121</i>
<i>Obr. 3-7</i>	<i>Teoretická doba života žárovky při různých hodnotách napájecího napětí.</i>	<i>122</i>
<i>Obr. 3-8</i>	<i>Provedení patic u žárovek.</i>	<i>123</i>
<i>Obr. 3-9</i>	<i>Různé provedení povrchů baněk žárovek.</i>	<i>123</i>
<i>Obr. 3-10</i>	<i>Provedení různých tvarů baněk žárovek a žárovky pro speciální použití.</i>	<i>123</i>
<i>Obr. 3-11</i>	<i>Náčrty systémů provedení a uchycení vlákna halogenové žárovky.</i>	<i>124</i>
<i>Obr. 3-12</i>	<i>Konstrukce halogenové žárovky.</i>	<i>125</i>
<i>Obr. 3-13</i>	<i>Porovnání spektrální distribuce u obyčejné a halogenové žárovky.</i>	<i>125</i>
<i>Obr. 3-14</i>	<i>Křížová charakteristika halogenové žárovky na síťové napětí o jm. příkonu 72 W.</i>	<i>126</i>
<i>Obr. 3-15</i>	<i>Provedení halogenových žárovek.</i>	<i>127</i>
<i>Obr. 3-16</i>	<i>Detail provedení vlákna u halogenové žárovky.</i>	<i>127</i>
<i>Obr. 3-17</i>	<i>Náčrty systémů provedení a uchycení vlákna halogenové žárovky.</i>	<i>127</i>
<i>Obr. 3-18</i>	<i>Příklad výbojů v interních plynech.</i>	<i>129</i>
<i>Obr. 3-19</i>	<i>Schémat zapalování nízkotlakých sodíkových výbojek.</i>	<i>131</i>
<i>Obr. 3-20</i>	<i>Konstrukce nízkotlaké sodíkové výbojky.</i>	<i>131</i>
<i>Obr. 3-21</i>	<i>Závislost měrného výkonu a indexu podání barev na tlaku sodíkových par.</i>	<i>132</i>
<i>Obr. 3-22</i>	<i>Příklad sodíkové nízkotlaké výbojky.</i>	<i>133</i>

<i>Obr. 3-23</i>	<i>Spektrální čáry par kovů při nízkém tlaku</i>	<i>134</i>
<i>Obr. 3-24</i>	<i>Příklady realizace reklam ze světelných trubic</i>	<i>134</i>
<i>Obr. 3-25</i>	<i>Příklady moderního použití světelných trubic</i>	<i>135</i>
<i>Obr. 3-26</i>	<i>Voltampérová charakteristika doutnavky</i>	<i>135</i>
<i>Obr. 3-27</i>	<i>Provedení doutnavek</i>	<i>136</i>
<i>Obr. 3-28</i>	<i>Praktická použití doutnavek</i>	<i>136</i>
<i>Obr. 3-29</i>	<i>Provedení a aplikace digitronových zobrazovačů</i>	<i>136</i>
<i>Obr. 3-30</i>	<i>Konstrukční schéma lineární zářivky</i>	<i>137</i>
<i>Obr. 3-31</i>	<i>Spektrální distribuce u lineárních zářivek</i>	<i>138</i>
<i>Obr. 3-32</i>	<i>Provedení lineárních zářivek</i>	<i>140</i>
<i>Obr. 3-33</i>	<i>Konstrukční schéma kompaktní zářivky</i>	<i>141</i>
<i>Obr. 3-34</i>	<i>Spektrální distribuce u kompaktních zářivek</i>	<i>141</i>
<i>Obr. 3-35</i>	<i>Různé realizace kompaktních zářivek</i>	<i>143</i>
<i>Obr. 3-36</i>	<i>Konstrukční schéma indukční výbojky</i>	<i>143</i>
<i>Obr. 3-37</i>	<i>Spektrální distribuce indukčních zářivek</i>	<i>144</i>
<i>Obr. 3-38</i>	<i>Indukční zářivky s vnitřní budící cívkou</i>	<i>144</i>
<i>Obr. 3-39</i>	<i>Indukční zářivky s vnějšími budícími cívkami</i>	<i>145</i>
<i>Obr. 3-40</i>	<i>Příklady svítidel s indukční zářivkou</i>	<i>145</i>
<i>Obr. 3-41</i>	<i>Konstrukce vysokotlaké rtuťové výbojky</i>	<i>146</i>
<i>Obr. 3-42</i>	<i>Spektrální distribuce u vysokotlakých rtuťových výbojek</i>	<i>146</i>
<i>Obr. 3-43</i>	<i>Provedení rtuťových vysokotlakých výbojek</i>	<i>147</i>
<i>Obr. 3-44</i>	<i>Konstrukční schéma směsové výbojky</i>	<i>148</i>
<i>Obr. 3-45</i>	<i>Spektrální distribuce směsové výbojky</i>	<i>148</i>
<i>Obr. 3-46</i>	<i>Provedení směsových výbojek</i>	<i>148</i>
<i>Obr. 3-47</i>	<i>Hořák halogenidové výbojky</i>	<i>149</i>
<i>Obr. 3-48</i>	<i>Spektrální čáry par jednotlivých prvků ve viditelné oblasti</i>	<i>150</i>
<i>Obr. 3-49</i>	<i>Spektrum halogenidových výbojek</i>	<i>151</i>
<i>Obr. 3-50</i>	<i>Provedení halogenidových výbojek</i>	<i>152</i>
<i>Obr. 3-51</i>	<i>Konstrukce vysokotlaké sodíkové výbojky</i>	<i>153</i>
<i>Obr. 3-52</i>	<i>Schéma zapojení vysokotlaké sodíkové výbojky</i>	<i>153</i>
<i>Obr. 3-53</i>	<i>Spektrální distribuce vysokotlakých sodíkových výbojek</i>	<i>154</i>
<i>Obr. 3-54</i>	<i>Provedení vysokotlakých sodíkových výbojek</i>	<i>155</i>
<i>Obr. 3-55</i>	<i>Závislost změny náhradní teploty chromatičnosti na změně příkonu sirné výbojky</i>	<i>157</i>
<i>Obr. 3-56</i>	<i>Příklad provedení sirných výbojek</i>	<i>157</i>

<i>Obr. 3-57 Příklad provedení xenonových výbojek.....</i>	<i>158</i>
<i>Obr. 3-58 HID xenonové výbojky pro automobilový průmysl.....</i>	<i>159</i>
<i>Obr. 3-59 Barva produkovaného světla u HID výbojek při rozdílné náhradní teplotě chromatičnosti.....</i>	<i>159</i>
<i>Obr. 3-60 Světelné diody 60. léta.....</i>	<i>160</i>
<i>Obr. 3-61 Světelné diody 70. léta.....</i>	<i>160</i>
<i>Obr. 3-62 Světelné diody 80. léta.....</i>	<i>161</i>
<i>Obr. 3-63 Světelné diody 90. léta.....</i>	<i>161</i>
<i>Obr. 3-64 Zobrazovače LED.....</i>	<i>161</i>
<i>Obr. 3-65 LED pro osvětlování 350 mA (1 W).....</i>	<i>162</i>
<i>Obr. 3-66 LED pro osvětlování 1 000 mA (3 W).....</i>	<i>162</i>
<i>Obr. 3-67 LED pro osvětlování 3 000 mA (10 W).....</i>	<i>163</i>
<i>Obr. 3-68 LED vícečipové plošné provedení 10 A (30 W) s aplikací ve svítidlech s reflektorem.....</i>	<i>163</i>
<i>Obr. 3-69 LED žárovka E14.....</i>	<i>163</i>
<i>Obr. 3-70 LED žárovka E27.....</i>	<i>164</i>
<i>Obr. 3-71 LED žárovka E40.....</i>	<i>164</i>
<i>Obr. 3-72 LED žárovka patice GUxx.....</i>	<i>164</i>
<i>Obr. 3-73 LED náhrada zářivkových trubic.....</i>	<i>164</i>
<i>Obr. 3-74 Svítidla se světelnými diodami pro pouliční osvětlení.....</i>	<i>165</i>
<i>Obr. 3-75 LED tématické a vizuální osvětlení.....</i>	<i>165</i>
<i>Obr. 3-76 Detaily konstrukce čipu světelné diody zobrazené pomocí optického mikroskopu.....</i>	<i>165</i>
<i>Obr. 3-77 Detaily konstrukce čipu sv. diody zobrazené pomocí elektronového mikroskopu.....</i>	<i>166</i>
<i>Obr. 3-78 Konstrukce světelné diody.....</i>	<i>166</i>
<i>Obr. 3-79 Spektrální distribuce světelných diod.....</i>	<i>167</i>
<i>Obr. 3-80 Závislost světelného toku na teplotě PN přechodu a době života světelné diod.....</i>	<i>168</i>
<i>Obr. 3-81 Příklad laserových diod.....</i>	<i>169</i>
<i>Obr. 3-82 Provedení a aplikace OLED displejů.....</i>	<i>170</i>
<i>Obr. 3-83 Příklad elektroluminiscenčních panelů.....</i>	<i>171</i>
<i>Obr. 3-84 Spektrální distribuce barevných luminoforů v CRT obrazovkách.....</i>	<i>171</i>
<i>Obr. 3-85 Spotřebiče vybavené CRT obrazovkou.....</i>	<i>172</i>
<i>Obr. 3-86 Zobrazovače VFD.....</i>	<i>173</i>
<i>Obr. 4-1 Ukázkově vyplněný soubor ve formátu IES LM-63-1991.....</i>	<i>177</i>
<i>Obr. 4-2 Ukázkově vyplněný soubor ve formátu IES LM-63-1995.....</i>	<i>178</i>

<i>Obr. 4-3 Ukázka uživatelského rozhraní programu Eulumdat Tools.....</i>	<i>181</i>
<i>Obr. 4-4 Ukázka uživatelského rozhraní programu PhotoView.....</i>	<i>181</i>
<i>Obr. 4-5 Závislost velikosti souboru na délce datového záznamu.....</i>	<i>184</i>
<i>Obr. 4-6 Závislost velikosti komprimovaných souborů na délce datového záznamu.....</i>	<i>185</i>
<i>Obr. 4-7 Účinnost komprese komprimovaných souborů.....</i>	<i>185</i>
<i>Obr. 4-8 Datový záznam parametrů světelných zdrojů v programu Microsoft Excel.....</i>	<i>186</i>
<i>Obr. 4-9 Znalosti reprezentované formou objektů.....</i>	<i>189</i>
<i>Obr. 4-10 Znalosti reprezentované formou vývojových diagramů.....</i>	<i>190</i>
<i>Obr. 4-11 Znalosti reprezentované formou sémantické sítě.....</i>	<i>191</i>
<i>Obr. 5-1 Záznam světelných zdrojů v hlavní datové záložce v prostředí MS Excel.....</i>	<i>193</i>
<i>Obr. 5-2 Zadávání parametru „platnost – původ informace“.....</i>	<i>194</i>
<i>Obr. 5-3 Zadávání parametrů členění ve skupinách parametrů.....</i>	<i>195</i>
<i>Obr. 5-4 Zadávání parametrů pro vyhledávání.....</i>	<i>196</i>
<i>Obr. 5-5 Záznam svítidel v hlavní datové záložce v prostředí MS Excel.....</i>	<i>196</i>
<i>Obr. 5-6 Prostředí programu Microsoft Visual Studio 2012.....</i>	<i>197</i>
<i>Obr. 5-7 Grafické rozhraní databázového systému světelných zdrojů.....</i>	<i>198</i>
<i>Obr. 5-8 Zobrazení parametrů světelných zdrojů na kartě „Elektrické parametry“.....</i>	<i>199</i>
<i>Obr. 5-9 Zobrazení parametrů světelných zdrojů na kartě „Světelně-technické parametry“.....</i>	<i>199</i>
<i>Obr. 5-10 Zobrazení parametru platnost – původ dat.....</i>	<i>200</i>
<i>Obr. 5-11 Selektce textových parametrů světelných zdrojů.....</i>	<i>200</i>
<i>Obr. 5-12 Selektce číselně zadaných parametrů světelných zdrojů.....</i>	<i>200</i>
<i>Obr. 5-13 Grafické rozhraní databázového systému svítidel.....</i>	<i>201</i>
<i>Obr. 5-14 Zobrazení parametrů svítidel na kartě „Technické parametry“.....</i>	<i>201</i>
<i>Obr. 5-15 Selektce textových parametrů svítidel.....</i>	<i>202</i>
<i>Obr. 5-16 Selektce číselných parametrů svítidel.....</i>	<i>202</i>
<i>Obr. 5-17 Export dat mezi databázových systémem světelných zdrojů a svítidel.....</i>	<i>203</i>
<i>Obr. 5-18 Grafické porovnání provozních parametrů dvou sv. diod v databázovém systému.....</i>	<i>203</i>
<i>Obr. 5-19 Hromadné znázornění parametrů vybraných sv. zdrojů.....</i>	<i>204</i>
<i>Obr. 5-20 Porovnání křivek svítivosti dvou svítidel v databázovém systému svítidel.....</i>	<i>204</i>
<i>Obr. 5-21 Export dat z databázového systému svítidel do nadstavbových programů.....</i>	<i>205</i>
<i>Obr. 5-22 Karta parametrů světelných zdrojů „Ekologie“.....</i>	<i>206</i>
<i>Obr. 5-23 Skupina parametrů pro osvětlování rostlin v databázovém systému sv. zdrojů.....</i>	<i>207</i>

SEZNAM TABULEK

<i>Tab. 2-1 Rozsah hodnot dosahovaného světelného toku u světelných zdrojů.</i>	28
<i>Tab. 2-2 Rozsah hodnot dosahovaného světelného toku u světelných zdrojů.</i>	30
<i>Tab. 2-3 Rozsah hodnot dosahované svítivosti u světelných zdrojů.</i>	32
<i>Tab. 2-4 Oblasti IR záření.</i>	33
<i>Tab. 2-5 Oblasti UV záření.</i>	34
<i>Tab. 2-6 Spektrální barvy.</i>	34
<i>Tab. 2-7 Barevné odstíny u lineárních zářivek.</i>	40
<i>Tab. 2-8 Barevné odstíny u kompaktních zářivek.</i>	40
<i>Tab. 2-9 Barevné odstíny u světelných diod.</i>	40
<i>Tab. 2-10 Rozsah hodnot dosahované svítivosti u světelných zdrojů.</i>	41
<i>Tab. 2-11 Rozsah hodnot dosahovaného činného příkonu u světelných zdrojů.</i>	45
<i>Tab. 2-12 Rozsah hodnot používaného napájecího napětí u světelných zdrojů.</i>	46
<i>Tab. 2-13 Rozsah hodnot odebíraného proudu u světelných zdrojů.</i>	49
<i>Tab. 2-14 Energetická účinnost předřadných systémů.</i>	53
<i>Tab. 2-15 Energetické třídy světelných zdrojů.</i>	54
<i>Tab. 2-16 Pojmy související s životem světelných zdrojů.</i>	55
<i>Tab. 2-17 Rozsah dosahované střední doby života u světelných zdrojů.</i>	58
<i>Tab. 2-18 Používané patice u světelných zdrojů.</i>	60
<i>Tab. 2-19 Provedení baňky u světelných zdrojů.</i>	62
<i>Tab. 2-20 Energetické transformační řetězce u jednotlivých světelných zdrojů.</i>	63
<i>Tab. 2-21 Přepočítání mezi fotometrickými veličinami a veličina pro osvětlování rostlin.</i>	71
<i>Tab. 2-22 Tři časové fáze výroby komponentů pro osvětlování.</i>	74
<i>Tab. 2-23 Index míhání a činitel vlnitosti u světelných zdrojů.</i>	87
<i>Tab. 2-24 Koeficienty vysokotlakých výbojek pro vodivostní model.</i>	96
<i>Tab. 2-25 Koeficienty a, b, c, d pro výpočet činitele oslnění.</i>	102
<i>Tab. 2-26 Maximální hodnoty činitele oslnění pro různé pracoviště a činnosti.</i>	102
<i>Tab. 2-27 Maximální hodnoty činitele oslnění pro různé pracoviště a činnosti.</i>	104
<i>Tab. 2-28 Stupeň ochrany krytím IP – význam použitých číslic.</i>	106
<i>Tab. 2-29 Maximální povrchové teploty svítidel pro různé prostory.</i>	107
<i>Tab. 2-30 Hodnoty mechanické odolnosti svítidel IK a hodnota energie.</i>	107
<i>Tab. 2-31 Zóny prostorů s nebezpečím výbuchu.</i>	108
<i>Tab. 2-32 Třídění technických svítidel pro všeobecné osvětlování.</i>	109

<i>Tab. 2-33 Dělení technických svítidel podle činitele tvaru křivky.</i>	109
<i>Tab. 2-34 Dělení technických svítidel podle systému BZ křivek.</i>	110
<i>Tab. 2-35 Termíny používané pro popis tvaru křivky svítivosti u svítidel.</i>	110
<i>Tab. 2-36 Dělení pouličních svítidel podle tvaru fotometrické plochy v podélném směru.</i>	110
<i>Tab. 2-37 Dělení technických svítidel pro přímé osvětlování podle tvaru světelné stopy.</i>	111
<i>Tab. 2-38 Dělení technických svítidel pro přímé osvětlování podle šířky svazku.</i>	111
<i>Tab. 2-39 Termíny používané pro popis směrových svítidel.</i>	111
<i>Tab. 2-40 Aktuálnost dat.</i>	112
<i>Tab. 2-41 Věrohodnost informace.</i>	112
<i>Tab. 2-42 Popis použitý zkratk.</i>	113
<i>Tab. 2-43 Přehled uváděných parametrů světelných zdrojů.</i>	113
<i>Tab. 2-44 Přehled uváděných parametrů svítidel.</i>	115
<i>Tab. 3-1 Principy přirozeného vzniku světla (v přírodě).</i>	117
<i>Tab. 3-2 Čárová spektra inertních a dalších plynů, par kovů.</i>	129
<i>Tab. 3-3 Parametry lineárních zářivek různého provedení.</i>	140
<i>Tab. 3-4 Parametry kompaktních zářivek různého provedení.</i>	142
<i>Tab. 3-5 Provozní parametry vysokotlakých rtuťových výbojek.</i>	147
<i>Tab. 3-6 Provozní parametry směsových výbojek.</i>	148
<i>Tab. 3-7 Nejčastěji používané prvky pro halogenidové výbojky.</i>	150
<i>Tab. 3-8 Halogenidy pro halogenidové výbojky.</i>	150
<i>Tab. 3-9 Parametry halogenidových výbojek s křemennými hořáky.</i>	151
<i>Tab. 3-10 Parametry halogenidových výbojek s keramickými hořáky.</i>	151
<i>Tab. 3-11 Příkonové řady a provedení vysokotlakých sodíkových výbojek.</i>	154
<i>Tab. 3-12 Provozní parametry sirtné výbojky Lifi 300 W Luxim.</i>	156
<i>Tab. 3-13 Materiály substrátu LED.</i>	166
<i>Tab. 3-14 Použité materiály na substrát polovodičové laserové diody.</i>	169
<i>Tab. 3-15 Umělé světelné zdroje primárně nepoužívané pro osvětlování.</i>	173
<i>Tab. 4-1 Příklad použití datového formátu IES LM-63-1991.</i>	176
<i>Tab. 4-2 Příklad použití datového formátu IES LM-63-1995.</i>	177
<i>Tab. 4-3 Používané atributy v datovém formátu IES LM-63-1995.</i>	178
<i>Tab. 4-4 Příklad použití datového formátu EULUMDAT.</i>	179
<i>Tab. 5-1 Katalogy použité pro tvorbu báze znalostí.</i>	192

SEZNAM SYMBOLŮ

a, b	Konstanty pro výpočet frekvence splývání 12 a 33 Hz
a, b, c, d	Koeficienty dynamického chování výbojové dráhy VT výbojových sv. z.
A_1, A_2	Plocha nad a pod střední hodnotou střední hodnoty časové změny sv. t.
$A-\alpha, B-\beta, C-\gamma$	Fotometrické roviny
B	Magnetické indukce [T]
$\cos\varphi$	Účinník [-]
DR	Koeficient přímé osvětlenosti
E	Intenzita elektrického pole [$\text{V}\cdot\text{m}^{-1}$]
E_E	Ozářenost, výkon dopadající na plochu [$\text{W}\cdot\text{m}^{-2}$]
E_{FAR}	Fotosynteticky aktivní intenzita ozáření [$\text{W}_{FAR}\cdot\text{m}^{-2}$]
$E_{\mu\text{mol}}$	Fotosynteticky aktivní intenzita ozáření [$\mu\text{mol}\cdot\text{s}^{-1}\cdot\text{m}^{-2}$]
f	Frekvence [Hz]
f	Index míhání [-, s]
f_s	Frekvence splývání [Hz]
g	Elektrická vodivost výbojové dráhy [S]
G	Hodnota míry oslnění
I	Svítivost [cd]
I	Proud [A]
i	Proud procházející hořákem výbojky [A]
I_E	Zářivost, hustota zářivého toku [$\text{W}\cdot\text{sr}^{-1}$]
I_{MAX}	Maximální svítivost [cd]
I_{STR}	Střední hodnota svítivosti [cd]
I_α	Svítivost odečtená z křivky svítivosti od 5° do 85° po 10° [cd]
K, η, l, Mz	Světelná účinnost, měrný výkon [$\text{lm}\cdot\text{W}^{-1}$]
k_F	Činitel vlnivosti světla [%]
K_F	Činitel tvaru křivky
k_{FAR}	Váhovací koeficient pro FAR [-]
$K_m(\lambda_m)$	Světelný účinek monochromatického záření s hodnotou 683 $\text{lm}\cdot\text{W}^{-1}$
L	Jas [$\text{cd}\cdot\text{m}^{-2}$]
L	Indukčnost [H]
L_E	Zářivost plošného zdroje [$\text{W}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{sr}^{-1}$]
LOR, R_{LO}	Provozní účinnosti [-, %]
L_p	Jas pozadí [$\text{cd}\cdot\text{m}^{-2}$]
L_z	Jas svítidla nebo světelného zdroje [$\text{cd}\cdot\text{m}^{-2}$]
m	Hmotnost [kg]
n_e	Hustotou volných elektronů (volných nosičů náboje) [m^{-3}]
p	Činitel polohy, který souvisí s vyosení svítidla a pozorovatele
P, P_n, P_{in}	Činný příkon [W]
P_{sv}	Příkon svítidla (světelné zdroje včetně předřadných systémů) [W]
Q	Zářivá energie [J]
Q, Q_{in}	Jalový příkon [Var]
R	Elektrický odpor [Ω]
r, g, b	Relativní souřadnice trichromatického systému RGB
R, G, B	Absolutní souřadnice trichromatického systému RGB

R_a	Indexu podání barev [-, %]
$R_{a,2012}$	Indexu podání barev podle metodiky CRI2012 [-, %]
S, S_n, S_{in}	Zdánlivý příkon [VA]
T	Perioda [s]
T	Život světelného zdroje [h]
T_c	Teplota chromatičnosti [K]
T_e	Ekvivalentní teplota chromatičnosti [K]
T_n	Náhradní teplota chromatičnosti [K]
T_{rr}	Doba zotavení [s]
U	Napětí [V]
u	Napětí na výbojové dráze [V]
U_A	Napětí na výboji [V]
U_b	Závěrné napětí [V]
U_{PN}	Napětí na přechodu PN [V]
UVW	Absolutní souřadnice trichromatického systému UVW
U_Z	Zápalné napětí [V]
$V(\lambda)$	Křivka citlivosti lidského oka podle CIE
X, Y, Z	Absolutní souřadnice trichromatického systému XYZ
x, y, z	Relativní souřadnice trichromatického systému XYZ
γ	Elevační úhel [°]
$\gamma_{50\%}$	Hodnota vyzařovaného úhlu při poklesu svítivosti na 50 % [°]
ΔP	Výkonovou ztrátou [W]
α	Činitel absorpce [%, -]
ε	Emisivita [-]
λ_{Bmax}	B světlo systému RGB s maximem na vlnové délce 435,8 nm
λ_{Gmax}	G světlo systému RGB s maximem na vlnové délce 546,1 nm
λ_m	Vrchol $V(\lambda)$ křivky s hodnotou 555,0155 nm
λ_{Rmax}	R světlo systému RGB s maximem na vlnové délce 700 nm
ρ	Činitel odrazu [%, -]
$\rho(\lambda)$	Spektrální činitel odrazu
τ	Činitel prostupu [%, -]
$\tau(\lambda)$	Spektrální činitel prostupu
Φ	Světelný tok [lm]
$\Phi(t)$	Časové změna světelného toku
Φ_e	Zářivý tok [W]
$\Phi_{e\lambda}$	Spektrální zářivý tok [$W \cdot m^{-1}$]
Φ_{FAR}, Φ_{PAR}	Fotosynteticky aktivní zářivý tok [W_{FAR}]
Φ_{max}, Φ_{min}	Minimum a maximum amplitudy světelného toku [lm]
$\Phi_{stř}$	Střední hodnota časové změny sv. toku [lm]
Φ_{sv}	Světelný tok, jenž vychází ze svítidla [lm]
Φ_z	Světelný tok, který produkují světelné zdroje uvnitř svítidla [lm]
$\Phi_{\mu mol}$	Fotosynteticky aktivní zářivý tok [$\mu mol \cdot s^{-1}$]
ω	Vyzařovaný úhel [°]
Ω	Prostorový úhel [sr]
ω_x	Vyzařovaný úhel pro rovinu C0 [°]
ω_y	Vyzařovaný úhel pro rovinu C90 [°]

SEZNAM ZKRATEK

AlGaInP	Aluminium-gallium-indium-phosphide
AlGaP	Aluminium-gallium-phosphide
AMEL	Active Matrix Electroluminescence
AMOLED	Active Matrix Organic Light Emitting Diode
ASCII	American Standard Code for Information Interchange
AsH ₃	Arsan nebo arzenovodík
BAM	Hlinitan barnatý
CAT	Uhličitan wolframitý
CaWO ₄	Wolframit vápenatý
CD	Compact Disc
CdCl	Chlorid kadmia
CdTe	Telurid kadmia
CIE	The International Commission on Illumination, Commission internationale de l'éclairage, Mezinárodní kom. pro osvětlování
CO	Oxid Uhelnatý
CO ₂	Oxid Uhličitý
CRI	Color Rendering Index, Index podání barev
CRT	Cathode Ray Tube
CSV	Comma-separated Values, souborový typ
ČR	Česká republika
DD	Formát data: DD – DenDen
DNA	Deoxyribonukleová kyselina
DP SZ	Kategorie - Dynamické parametry, Světelné zdroje
DPS	Deska plošného spoje
DVD	Digital Video Disc
E DP SZ	Kategorie - Elektrické, Dynamické parametry, Světelné zdroje
E SP SZ	Kategorie - Elektrické, Statické parametry, Světelné zdroje
E SV	Kategorie - Elektrické, Svítidla
EEI	Energy Efficient Index
EL	Elektronický
ELD	Electroluminescent Display
EM	Elektromagnetický
EMC	Elektromagnetická kompatibilita
ES	Expertní systém
EU	Evropská unie
EUV, XUV	Extrémně Ultraviolet, Hluboké nebo extrémní UV
FIR	Far IR, Vzdálené infračervené záření
FUV, VUV	Far Ultraviolet, Daleké UV
GaAs	Gallium-Arsenide, Arsenid gallia
GaN	Gallium-nitride, Nitrid gallia
GaSb	Gallium-Antimonide
GUI	Graphical User Interface, Grafické uživatelské prostředí systému
H ₂ O	Voda
HD	High Density
HDR	Fotografii s vysokou dynamickou jasu

Hg	Rtut'
HID	High Intensity Discharge, Xenonové výb. s vys. intenzitami jasu
HP	High Pressure, Vysokotlaký
CH ₄	Metan, methan
ID	Identity, Identifikační číslo
IES	Illuminating Engineering Society
IGBT	Insulated Gate Bipolar Transistor
InGaN	Indium-gallium-nitride
InP	Indium-Phosphide, Fosfid India
IR	Infrared, Infračervené záření
IR-A, IRA	Blízké infračervené záření
IR-B, IRB	Krátké a střední infračervené záření
IR-C, IRC	Dlouhé infračervené záření
LCD	Liquid Crystal Display, Displej z tekutých krystalů
LED	Light Emitting Diode, Světelná dioda
LOR	Light Output Ratio, Provozní účinnost
LP	Low Pressure, Nízkotlaký
LWIR	Long Wave IR, Dlouhé infračervené záření
MM	Formát data: MM – MěsícMěsíc
MOSFET	Metal Oxide Semiconductor Field Effect Transistor
MS-DOS	Microsoft Disc Operating System
MWIR	Medium Wave IR, Střední infračervené záření
Na	Sodík
NIR	Near IR, Blízké infračervené záření
NT	Nízkotlaký
NTVZ	Nízkotlaké výbojové zdroje
O SP SZ	Kategorie - Ostatní, Statické parametry, Světelné zdroje
OLED	Organic Light Emitting Diode, Organická světelná dioda
PAR, FAR	Photosynthetic Active Radiation, Fotosynteticky aktivní záření
PDF	Portable Document Format
PFC	Power Factor Correction
PMOLED	Passive Matrix Organic Light Emitting Diode
PN přechod	Oblast na rozhraní příměsového polovodiče typu P a typu N
PP	Provozní parametr
PS	Předřadný systém
PT SV	Kategorie - Provozně-technické, Svítidla
Rel.	Relativní
SE/O SP SZ	Kategorie - Světelně-elektrické a ostatní, Stat. parametry, Sv. zdroje
Sr,BaAl ₂ Si ₂ O ₈ :Eu	Křemičitan stroncia, barya a hliníku aktivovaný europiem
Sr ₃ (PO ₄):Eu	Fosforečnan stroncia aktivovaný europiem
SrB ₄ O ₇ :Eu	Tetraboritan stroncia dotovaný europiem
SrMgP ₂ O ₇ :Eu	Fosforečnan hořčíku a stroncia aktivovaný europiem
SSSR	Svaz sovětských socialistických republik
ST SP SZ	Kategorie - Světelně-technické, Statické parametry, Světelné zdroje
ST SV	Kategorie - Světelně-technické, Svítidla
ST/E SP SZ	Kategorie - Světelně-technické a elektrické, Stat. param., Sv. zdroje
ST/E SV	Kategorie - Světelně-technické a elektrické, Svítidla

SV	Svítilno
SWIR	Short Wave IR, Krátké infračervené záření
SZ	Světelný zdroj
TDEL	Thick Dielectric Electroluminescence
TFEL	Thin Film Elektroluminescence
TXT	Textový soubor
UGR	Unified Glare Rating
USA	Spojené státy americké
UV	Ultraviolet, Ultrafialové záření
UVA, UV-A	Ultraviolet A, Ultrafialové záření A, Dlouhovlnné UV
UVB, UV-B	Ultraviolet B, Ultrafialové záření B, Středovlnné UV
UVC, UV-C	Ultraviolet C, Ultrafialové záření C, Krátkovlnné UV
VACH	Voltampérová charakteristika
VF	Vysokofrekvenční
VFD	Vacuum Fluorescent Display
VGA	Video Graphic Array
VN	Vysokonapěťový
VT	Vysokotlaký
VTVZ	Vysokotlaké výbojové zdroje
XML	Extensible Markup Language, souborový typ
YAG	Yttrio-hlinitý granát
YOX	Oxid yttritý
YYYY	Formát data: YYYY – RokRokRokRok
ZIP	Komprimovaný soubor
ZnO	Oxid zinečnatý
ZnS	Sulfid zinečnatý

1 ÚVOD DISERTAČNÍ PRÁCE

1.1 Předmluva

Život člověka v moderním lidském společenství se od dob počátku jeho vývoje liší snad ve všem. Hlavní změnou, ovlivňující jeho pracovní režim i biologické cykly, je „vynález času“. Čas a jeho plynutí jsou zde samozřejmě přítomny již od počátku vzniku časoprostoru, nicméně potřebu měřit čas člověk začal pociťovat až v době, kdy se snažil vymanit se z přirozených denních/nočních cyklů. Automaticky a v závislosti na ročním období se člověk při západu Slunce uložil ke spánku a s rozedněním vstával. Teprve zdroje umělého světla, jež osvětlovaly jeho obydlí, umožnily prodloužení pracovního dne i do nočních hodin. Toto narušení přirozených biorytmů mělo zásadní a pozitivní vliv na rozvoj lidské společnosti. Ale na druhou stranu se člověk tímto počinem připravil o část své svobody.

Zpočátku se jednalo o osvětlování otevřeným ohněm, primárně používaným na úpravu jídla, zajištění tepelných podmínek a jako ochrana před vnějšími vetřelci. Nekomfortnost tohoto řešení spočívala v nízké účinnosti přeměny paliva na světlo s nutností jeho neustálého shánění. Oheň nesměl zhasnout - ohniště vychladnout a samotný plamen vytvářel saze a další plynné zplodiny. Řešením bylo spalování nejrůznějších živočišných tekutých tuků, kdy se pomocí délky vyčnívajícího knotu z rostlinných vláken mohl regulovat výkon. V malé míře se také používaly přírodní parafíny, především včelí vosk. Vrchol vývoje v této oblasti byl docílen používáním velrybího tuku a nebyl přechodem na tekutá fosilní paliva (petrolej, kerosin) v 18. století, došlo by k naprostému vyhubení velrybích společenství u pobřeží Evropy a Asie. Postupný rozvoj petrochemického průmyslu a zvýšená těžba fosilních paliv dal světu syntetický parafín a první umělou svíčku. Spalování petroleje a svíček osvětlovalo u nás na území ČR domácnosti po celé 19. a v některých oblastech i první polovině 20. století. Stejná situace jako pro osvětlování domácností panovala i na městských ulicích. Především z důvodů bezpečnosti byla první starověká města osvětlována loučemi a pochodněmi. V 19. století byl vývoj venkovního osvětlení završen používáním průmyslových plynů (svítíplyn), jehož distribuce byla sofistikovaně řešena.

Teprve vývoj elektroenergetických zařízení koncem 19. století umožnil použití elektrické energie pro osvětlování. Zpočátku se jednalo o několik vybraných společenských budov a z pohledu venkovního osvětlení o několik světově významných výstav. Ve střední a západní Evropě docházelo k rozsáhlé elektrifikaci až po první světové válce. V počátcích elektrický proud sice nebyl komfortem pro každého a nebyl dostupný celých 24 hodin denně. Ale i tak se začaly objevovat první svítidla vybavená žárovkou. Žárovkám samozřejmě ještě předcházely obloukové lampy v nejrůznějším provedení. Za zmínku stojí tzv. Jabločkova svíčka, kterou se nechal inspirovat i náš konstruktér František Křížík. Nicméně krátká doba života a nízká účinnost těchto zdrojů zamezila jejich hromadnému použití a ze žárovky se stal primární zdroj pro vnitřní osvětlování až do 70. let 20. století, kdy začalo docházet k hromadnému nasazování zdrojů výbojových. Historie zdrojů výbojových se datuje již od počátku 19. století, kdy docházelo k hromadnému nasazení tzv. světelných trubic. Nicméně až v meziválečném období byly vytvořeny první komerčně upotřebitelné rtuťové vysokotlaké výbojky. Nízkotlaké rtuťové výbojky – lineární zářivky byly uvedeny na trh také v této době, nicméně nekvalitní jednopásmový luminofor, nízká účinnost přeměny elektrické energie na světlo a blízkost další světové války z nich udělala zdroj použitelný pro interní osvětlování až v 50. letech. Dalším milníkem ve vývoji světelných zdrojů je konec 80. let. Díky neustále vyspělejší výpočetní technice, technologicky zvládnuté výrobě polovodičových prvků a pokroků ve výrobě kvalitních

luminoforů, se objevuje několik nových, doposud nevídaných světelných zdrojů. Kompaktní zářivka, využívající výhod velkých lineárních zářivek, ale vtěsnaných do prostoru totožného s běžnou žárovkou, nabízí vhodnou alternativu světelného zdroje pro vnitřní osvětlení s mnohonásobně vyšší účinností přeměny elektrické energie na světlo. Objevily se také světelné zdroje, jenž možná trochu předběhly dobu a na svoje znovuvzkříšení si musely ještě jedno desetiletí počkat. Příkladem je indukční bezelektrodová zářivka, která dnes nabízí alternativu zdroje pro těžko přístupné prostory s extrémně dlouhou dobou technického života. Dalším zdrojem je sirmá výbojka, jenž se technologickým principem přeměny elektrické energie na světlo významně liší od všech ostatních světelných zdrojů. V dnešní době nacházejí její klony místo v promítacích systémech a například i v akvaristice. V oblasti venkovního osvětlení přibyla vysokotlaká sodíková výbojka, u které se podařilo vyřešit technologické problémy s výrobou korundového hořáku, což umožnilo její hromadné nasazení do pouličního osvětlení, kde nahradila vysokotlakou rtuťovou výbojku. Postupně a především pro osvětlení velkých průmyslových hal, skladišť a nákupních prostor se začala používat výbojka halogenidová. I zdroje teplotní dosáhly určitého vývoje. Krátká doba života těchto zdrojů, způsobená odparem materiálu vlákna, byla z části zpomalena použitím halogenů. Tím vznikla halogenová žárovka, jejíž lineární varianta se ve velkém využívá do dnešních dob v reflektorových svítidlech. Také naše současná legislativa podporuje tyto zdroje jako dočasnou alternativu obyčejných žárovek. V 90. letech se objevila první, pro osvětlení použitelná, světelná dioda. Opět rychlý technologický rozvoj těchto zdrojů na přelomu tisíciletí umožnil jejich současné nasazení do všech oblastí osvětlování.

Pokud zhodnotíme dnešní situaci (přelom roku 2013/2014) v osvětlování a z pohledu výběru světelných zdrojů, tak tato situace nemá žádnou analogii k dobám předchozím. Trh je doslova přesycen nejrůznějšími druhy a variantami vzájemně více či méně nahraditelných světelných zdrojů. Navíc množství dostupných svítidel tuto situaci neulehčuje. Neustálé zastarávání, ať už morální nebo technologické, již několikanásobně překračuje vlastní technický život těchto zdrojů. Projektant navrhující osvětlovací soustavu se již nemůže spolehnout na své dlouhodobé zkušenosti, protože co platilo před několika lety, dnes již není buď aktuální nebo je zcela jinak. Pro příklad je zde uveden stav před dvaceti lety, kdy pro vnitřní osvětlení byl k dispozici výběr mezi lineární zářivkou, vždy s indukčním předřadníkem, v provedení T8 a v několika málo dostupných příkonových řadách, závislých na délce trubice. A žárovkou v provedení „obyčejném“ nebo „mléčném“ s patičkou E27 nebo žárovkou svíčkou v provedení patice E14, opět v několika základních výkonových řadách. Výběr zářivkových svítidel byl také značně omezený pouze na tuzemské výrobce a u žárovkových svítidel byl sortiment doplněn o různé druhy závěsných lustrů svítidel původem z Polska nebo Číny. Dnes je situace opravdu jiná, alternativ je řádově více. A běžný, ale i v problematice znalý člověk nemůže obsáhnout všechny současné katalogy, datasheety, trendy, normy a tak učinit „nejlepší“ volbu výběru. Potřeboval by vzájemně porovnatelná data jednotlivých výrobců, což při dnešní honbě za ziskem, prosazování konkurenčních výhod a zatajování konkurenčních nedostatků, není možné. Běžné jsou praktiky výrobců uvádět pouze s konkurencí neporovnatelná data, takže na první pohled a bez složitých výpočtů, simulací není možné rozhodnout o kvalitách výrobku. Jsou zde dostupné programy, za zmínku stojí například program Relux, kde je možné pro návrh osvětlovacích soustav vybírat z neustále aktualizované databáze svítidel a světelných zdrojů. Nicméně ani zde není zdaleka obsažen celý dnes nabízený sortiment. Již delší dobu jsou používány vytvořené různé datové formáty pro popis svítidel. Opět převážná většina těchto formátů není vzájemně kompatibilní, přenositelnost dat je pouze částečná. Formáty mají pevnou strukturu, dnes již nejsou aktuální. To

znamená, že se nepřizpůsobují moderním trendům, kdy pro popis světelných zdrojů je potřeba více údajů, než bylo při vzniku těchto formátů.

1.2 Popis současného stavu v oblasti světelných zdrojů a svítidel

Jak již bylo napsáno v předmluvě, v současnosti existuje několik používaných a různým způsobem podporovaných datových formátů pro popis svítidel. Nicméně každý z nich byl založen v jiné době, zemi, s podporou jiných výrobců, takže vychází z různých standardů. Až na výjimky není mezi nimi zaručena plnohodnotná kompatibilita a vzájemná (jednoduchá) konverze dat. Také žádný ze zde uvedených formátů nezohledňuje všechna data a informace, jenž je nutné znát k plnohodnotnému popisu dnešních svítidel. Je to typická ukázka upořádání dat a informací v osvětlovací technice. Všeobecně používané popisy, datové formáty a databázové systémy jsou dnes zastaralé po technické i morální stránce. Výrobci světelných zdrojů taktéž distribuují mezi své zákazníky data o světelných zdrojích prostřednictvím různých katalogových listů nebo dat v textové podobě. Zde je ovšem nutné podotknout, že především hlavní světoví výrobci světelných zdrojů a svítidel své databáze udržují neustále aktuální a veřejnosti dostupné. Nicméně opět jejich poskytované informace jsou navzájem neporovnatelné. Kupříkladu jeden výrobce své výrobky nabízí ve formě stažitelných uzamčených datasheetů ve formátu PDF, další nabízí své výrobky v multimediální databázi prostřednictvím webové aplikace a jiný prostřednictvím letáků a knižních katalogů. Vzájemná konverze dat pro účely komparace je možná pouze za pomoci složitých konvertorů do jednotného formátu, ale i tak je potom vyhodnocení možné pouze u navzájem porovnatelných údajů. Navrhovaná struktura databáze pro světelnou techniku by se měla těmto problémům vyvarovat vytvořením dynamické struktury, která bude uživatelsky definovatelná a bude sledovat moderní vývojové trendy světelných zdrojů a požadavky na osvětlování.

1.3 Cíle disertace

Světelná a osvětlovací technika je oblastí značně se dynamicky vyvíjející. Bohužel v dnešní době neexistuje žádným jednotný sběrný systém dat, který by dokázal navzájem sjednotit informace a parametry jednotlivých použitelných druhů světelných zdrojů a používaných svítidel, navíc od různých výrobců. Tento systém je do budoucna neodmyslitelnou potřebou pro úspěšné návrhy osvětlovacích soustav, kde by se kombinovaly výhody jednotlivých použitelných technologií s co největší úsporou elektrické energie, ohledem na životní prostředí a dosaženým komfortem z hlediska osvětlení a světelné pohody.

Cílem práce je tedy vytvořit komplexní strukturu v podobě databázového systému, kterou by bylo možné dle potřeb dynamicky rozšiřovat a průběžně doplňovat novými daty. Bylo by zde možné uchování informací v jakékoli myslitelné multimediální podobě od textových a tabulkových informací, přes grafické a vektorové záznamy, až po audiovizuální. Do budoucna by vzniklý systém mohl být veřejně přístupný, například pomocí webového rozhraní.

Částečným řešením, momentálně alespoň pro naše univerzitní a vědecké účely, je tvorba databázového systému s inteligentním vyhledáváním, snadným zadáváním a možností importu - exportu dat. Do systému by tedy bylo možné ukládat hodnoty a data od katalogových, udávaných výrobců, až po laboratorním měřením získané. Rozsah použitelných mediálních formátů pro data by neměl být omezen. Samozřejmě není možné v takto krátkém časovém úseku, vyčleněném pro tvorbu této práce, a s minimem pracovních sil vytvořit plnohodnotný databázový systém, který by byl navíc zaplněn aktuálními konvertovanými daty všech dnešních výrobců. Práce spíše

poskytuje nadhled a zamyšlení se nad dnešní problematikou týkající se například i ekologických aspektů používání světelných zdrojů a svítidel.

Fakta a znalosti získané při tvorbě této práce jsou využity pro tvorbu snadno rozšiřitelného databázového systému, kde bude možné podle aktuálních trendů zadávat nové, navzájem porovnatelné parametry. Výstupem jsou textová i grafická porovnání nejrůznějšího charakteru především za účelem, aby potenciálnímu uživateli ulehčily výběr a rozhodnutí.

Aby bylo možné tento databázový systém vytvořit, je nejprve nutné znát požadavky na jeho nároky, sběr a množství potřebných parametrů, jejich vazby a ustálené (používané) popisy. Proto je značná část práce věnovaná sběru těchto parametrů. Až poslední kapitola práce je věnována samotné tvorbě databázového systému, jeho plnění daty, návodem k použití a ukázkám textově-grafického výstupu.

Sběr dat o světelných zdrojích, svítidlech a datových formátech je rozdělen na tři velké kapitoly. První se věnuje sběru, rozsahu a zařazení statických a dynamických parametrů světelných zdrojů a svítidel. Zde je důraz kladen především na rozsah číselných hodnot, dostupnost nebo možnosti získání jednotlivých parametrů a také důležitost znalosti daného údaje. Druhá kapitola je věnována popisu světelných zdrojů, ať už z pohledu jejich současných parametrů, způsobu realizace, konstrukce, ale také z pohledu jejich historického vývoje. Díky znalosti historického vývoje jejich provozních parametrů je možné s jistotou předpovědět další vývoj, a tak navrhnout takovou strukturu tvořené databáze, aby těmto požadavkům již dnes vyhovovala. A třetí kapitola je věnována současně používaným datovým formátům, databázím a jejich přechodu k expertním systémům.

Na rozdíl od ostatních konkurenčních a volně dostupných systémů je výhodou diskutovaného databázového systému možnost kombinace a vzájemná statistická porovnání laboratorně naměřených výsledků s hodnotami uváděnými výrobci. Pro vytvoření databázového systému se nejprve vycházelo ze znalostí získaných z hromadného sběru převážně katalogových údajů a některých laboratorních měření na ústavu elektroenergetiky FEKT VUT. Dále pak informacím, která nejsou běžně dostupná, případně běžně uváděná výrobci, ale značně souvisí s provozem a dynamikou osvětlovacích soustav, svítidel i v nich obsažených světelných zdrojů. Mezi ně například patří vliv oteplení, změna polohy nebo změna spektra emitovaného záření při náběhu světelného zdroje, či změně parametrů napájení. Zajímavou alternativou se za použití moderní výpočetní techniky také nabízí tvorba modelů světelných zdrojů, které by dokázaly simulovat statické i dynamické chování světelných zdrojů, svítidel i celých osvětlovacích soustav. Dále pak tvorba emisí při výrobě, užití a následném zpracování / recyklaci světelných zdrojů. Nebo možnosti uplatnění některých světelných zdrojů pro osvětlování rostlin. Tyto a další parametry a informace uváděné ve vytvořeném databázovém systému jsou hlavním cílem disertace, kde databázový systém se svým obsahem a možnými výstupy tvoří jedinečný soubor znalostí a ucelených pravidel pro možnost použití v laboratořích s možností neustálého doplňování nových hodnot, faktů a pravidel tak, aby nedošlo k jeho zastarání a byl pořád aktuální.

Rozšiřování možností systému lze provádět přidáváním dalších modulů, přičemž se vytvářejí neustále nové vazby, kterými se systém „učí“. Momentálně je databázový systém schopen hledat optimální řešení na základě uživatelsky zadaných kritérií a samozřejmě na základě aktuálnosti znalostí uložených ve své bázi znalostí. Hranice mezi databázovým systémem s možností rozšířeného vyhledávání s exportem dat a expertním systémem je velmi tenká. Expertní systém podle své definice dokáže na základě své báze znalostí a „naučených“ vazeb (od experta v oboru) hledat optimální řešení a je také schopen zpracovat uživatelský dotaz a poskytnout odpověď. Této

funkce je navrhovaný databázový systém schopen pouze částečně. Momentálně je výstupem pouze soubor textových a grafických dat, závislý na aktuálnosti, zaplnění databáze a integrovaných vazbách. A závisí pouze na uživateli, jeho zkušenostech, jak s výslednými informacemi naloží. Nicméně pomocí dalších vytvořených rozšiřujících modulů je v budoucnu možné tento databázový systém „vylepšit“ do podoby plnohodnotného expertního systému.

2 PARAMETRY SVĚTELNÝCH ZDROJŮ A SVÍTIDEL

Parametry světelných zdrojů a svítidel můžeme dělit různým způsobem. Výrobce zpravidla uvádí ty parametry, které je nutné znát z hlediska návrhu osvětlení, bezpečnosti, parametrů napájecí sítě, prostředí apod. Ve světelné technice je zavedeno dělení na parametry elektrické, světelně-technické a parametry ostatní. Vzhledem k tvorbě databáze může být provedeno dělení také na parametry podle povahy změny v čase. Prvními jsou parametry statické, jenž jsou zpravidla těmi, které udává výrobce ve svých katalogích. Tyto parametry přísluší ustálenému stavu provozu světelných zdrojů a svítidel. Jsou zpravidla vyjádřeny jako průměrná hodnota ze zkoušeného vzorku nebo jako cílová hodnota výrobců, která je samozřejmě vždy udána včetně příslušných tolerancí. Vzhledem k počtu měřených zdrojů nebo svítidel a jejich vzájemnému porovnání můžeme vyjádřit parametry statistické, kde se zpravidla sledují rozsahy, zastoupení jednotlivých parametrů a řad. Výsledkem jsou pak četnosti zastoupení, vzájemné relace veličin a histogramy. Dynamické parametry, jako poslední zástupce tohoto dělení, vyjadřují časově proměnné chování světelných zdrojů a svítidel. Typickým příkladem je vývoj teplot od počátku zapnutí až po jejich ustálení u jednotlivých komponentů, ale i příslušných na teplotě závislých provozních parametrů. Dále pak start světelných zdrojů s náběhem, který je typický u zdrojů výbojových, u kterých během fáze startu po ustálení dochází ke změně světelně-technických i elektrických parametrů. Za zmínku stojí také změny parametrů při změně napájecích podmínek a při změně polohy. Pro přehlednost a efektivitu je následně podrobné dělení parametrů věnováno pouze těm důležitým, které jsou následně uvedeny také v databázovém systému. Běžně udávané katalogové údaje jsou zpravidla zadány jako parametry statické. Dynamické parametry jsou převážně reprezentovány laboratorně změřenými v čase proměnnými závislostmi a náběhy.

Následující kapitoly se zabývají statickými a statisticky vyjádřitelnými parametry, poté přicházejí na řadu parametry dynamické a v kapitole poslední jsou popsány parametry a vlastnosti ostatní, jenž není možné zařadit do předchozích skupin. Jedná se například o ekologické aspekty s tvorbou emisí spojenou s výrobou a provozem komponentů nutných pro osvětlování. V dnešní době, kdy se informace distribuují prostřednictvím nejrůznějších médií, je nutné odlišit data ověřená, například laboratorním měřením a data neověřená, často neseriózního charakteru. Proto je zaveden pojem „věrohodnost informace“ a také pojem „aktuálnost“, který má význam při dnešním rychlém stárnutí informace.

2.1 Statické parametry světelných zdrojů – světelně-technické

2.1.1 Zářivý a světelný tok

Zářivý tok je podle definice zářivá energie jakýchkoli vlnových délek elektromagnetického spektra, která prochází určitým prostorem za jednotku času. Je to základní veličina radiometrie. Tento parametr je používán pro určení vyzářené energie u světelných zdrojů s částečnou nebo převážnou spektrální distribucí mimo oblast světla. Příkladem mohou být některé vysokotlaké výbojky bez luminoforu, germicidní zářivky nebo tepelné zářiče a IR světelné diody. Zářivý tok se značí Φ_e a jednotkou je W. Nicméně často se také používá veličina spektrální zářivý tok. Tu je možné vyjádřit jako zářivý tok o jedné vlnové délce nebo spíše definovaném vlnovém rozsahu. Spektrální zářivý toku můžeme označit $\Phi_{e\lambda}$ nebo $\Phi_e(\lambda)$ a jednotkou je $W \cdot m^{-1}$.

Pro účely světelné techniky a fotometrie je mnohem častěji užívanou veličinou světelný tok. Ten určuje množství světelné energie, která se vyzáří nebo projde určitým prostorem za jednotku času. Opět se jedná o elektromagnetickou energii, nicméně pouze ve vymezeném spektru 380 až

780 nm, navíc s přihlédnutím na průměrnou citlivost lidského oka definovanou tzv. $V(\lambda)$ křivkou. Tato křivka je vytvořeným standardem již od roku 1924 Mezinárodní komisí pro osvětlování CIE. Takže je zde analogie s radiometrickou veličinou zářivý tok. Světelný tok je tedy základní veličinou fotometrie. Světelný tok označujeme Φ a jednotkou je lm [7].

Matematicky světelný tok můžeme definovat podle následujícího vztahu (2-1) [7].

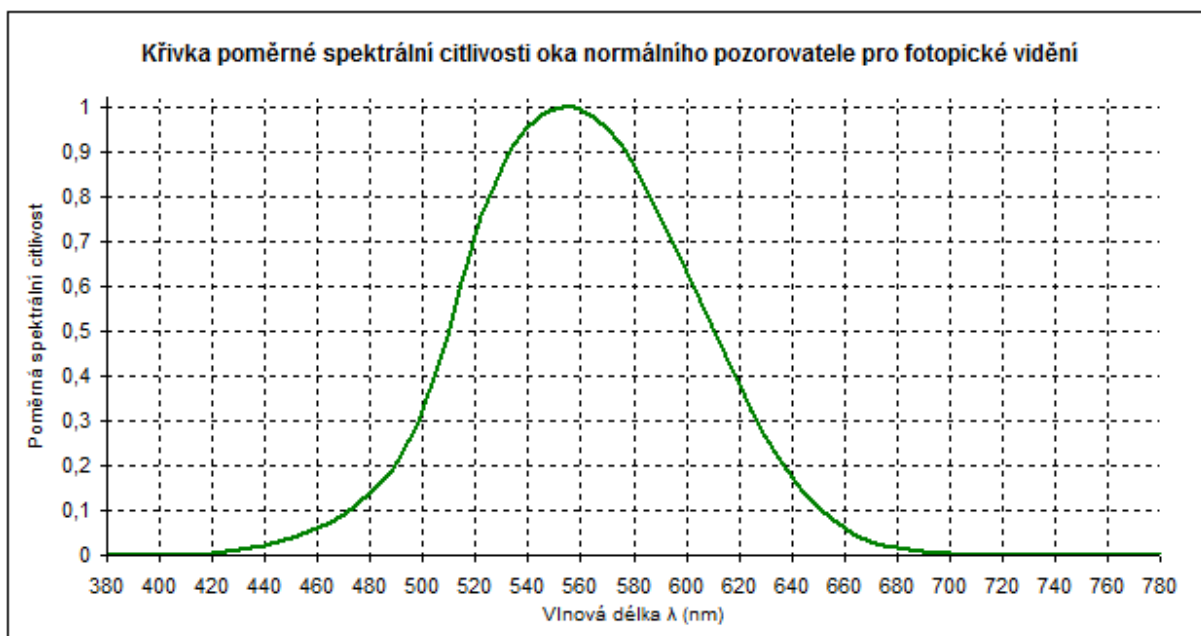
$$\Phi(\lambda) = \Phi_e(\lambda) \cdot K(\lambda), \quad (2-1)$$

kde $\Phi(\lambda)$ je světelný tok monochromatického záření o vlnové délce λ ,

$\Phi_e(\lambda)$ je zářivý tok monochromatického záření o vlnové délce λ ,

$K(\lambda)$ je světelný účinek monochromatického záření, který je úměrný poměru světelnému ku zářivému toku dané vlnové délky. Tento poměr je vyjádřen $V(\lambda)$ křivkou.

Veličina $K(\lambda)$ je také definovaná jako součin veličiny maximální hodnoty spektrálního průběhu K_m a poměrné světelné účinnosti $V(\lambda)$ konkrétního monochromatického záření. Na následujícím Obrázku 2-1 je znázorněna $V(\lambda)$ křivka, udávající spektrální citlivost průměrného „normálního“ lidského oka pro fotopické (denní) vidění. Vrchol této křivky je $\lambda_m = 555$ nm. Při této hodnotě je světelný účinek monochromatického záření největší, veličina $K_m(\lambda_m) = 683 \text{ lm} \cdot \text{W}^{-1}$ [6].



Obr. 2-1 Křivka poměrné spektrální citlivosti oka pro fotopické vidění [7].

U světelných zdrojů bývá tato veličina uváděna jako celková světelná energie vycházející ze zdroje v celém prostoru 4π sr. Nicméně celkový výsledný světelný tok, který můžeme použít pro osvětlování, není nikdy této veličině roven, protože žádný světelný zdroj nemá 100% účinnost přeměny elektrické energie na světlo. Vždy dochází ke ztrátám uvnitř světelného zdroje a na fotometricky aktivních částech svítidla (difuzory, refraktory, reflektory), které směřují světelnou energii s vhodnou distribucí do osvětlovaného prostoru.

2.1.1.A Měření světelného toku

Měření světelného toku není tak jednoduché, jak by se na první pohled mohlo zdát. Je nutné „posbírat“ veškerý světelný tok, který světelný zdroj vyzařuje do prostoru, a ten následně sečíst. V zásadě jsou užívány dvě základní metody.

První je měření zdroje v kulovém integrátoru, jenž za pomoci mnohonásobných odrazů vyzařovaný světelný tok zdrojem zhomogenizuje a jeho malá odebraná část, měřená zpravidla jako jas na malém stínítku pomocí jasoměru, je přímoúměrná toku celkovému. Bohužel tato metoda má několik nevýhod, které je možné pouze z části eliminovat. Přítomnost světelného zdroje v integrátoru způsobuje určité pohlcení světelného toku povrchem zdroje/svítidla a jeho přírodních kabelů. Tento problém je možné eliminovat korekcí. Korekcí je možné také snížit chybu způsobenou časovou degradací odrazových vlastností vnitřního povrchu kulového integrátoru. Co nelze eliminovat nebo pouze částečně je chyba způsobená spektrálními odraznými vlastnostmi vnitřního povrchu kulového integrátoru, stínítka pro měření jasu a spektrální chyby použitého jasoměru nebo fotočlánku. Takže především u světelných zdrojů, kde je značná distribuce v okrajových částech spektra, dochází k těmto chybám výrazněji. Výsledná chyba může být až v řádu jednotek procent. Na výsledek a jeho dosaženou přesnost má také vliv přesnost použitého normálu s korekcí vlivem na jeho stárnutí. Světelný zdroj musí být v integrátoru umístěn v pracovní poloze a musí být také dodržena normalizovaná okolní teplota. Pro zdroje teplotní a vysokotlaké výbojové musí být teplota udržena v rozsahu 18 až 29 °C, pro zdroje zářivkové 25 °C s tolerancí 1 °C. Navíc musí být zamezeno nadměrnému proudění vzduchu v okolí zdrojů.

Druhou metodou měření světelného toku je použití graficko-početní metody. U světelného zdroje jsou měřeny křivky svítivosti s co nejvyšším rozlišením – počet měřených křivek v různých rovinách a bodech na nich je určen jako optimum mezi potřebným časem a výslednou přesností. Jednotlivé příspěvky naměřené svítivosti resp. osvětlenosti pomocí luxmetru jsou sečteny a je vyjádřen celkový světelný tok. Tato metoda je stejně jako ta předchozí zatížena řadou kompenzovatelných a nekompenzovatelných vlivů. Velký počet měřených bodů křivek svítivosti se dnes realizuje především pomocí automatických měřicích a manipulačních systémů. Zařízení pro natáčení svítidla, či měřicí aparatury v potřebných osách se nazývá goniofotometr. V současnosti jsou dostupné čtyři základní realizace těchto zařízení, nicméně převážně se používá koncepce, kdy je mechanicky otáčeno se světelným zdrojem nebo svítidlem v měřených osách a měřicí zařízení je umístěno pevně. Výhody tohoto řešení jsou nižší nároky na prostor a na konstrukci goniofotometru. Nevýhodou je pohyb a změna polohy světelného zdroje nebo svítidla během měření. Nejsou tedy zajištěny stejné podmínky pro všechny měřené křivky svítivosti. Značnou závislost provozních parametrů na poloze mají především zdroje výbojové, ale i zdroje teplotní a luminiscenční mají jistou závislost svých parametrů na poloze, protože se u nich mění sdílení tepla mezi jednotlivými funkčními částmi a tím i jejich výsledná teplota. Další chyby do měřicího řetězce vnášejí vnitřní chyby měřicího zařízení, zpravidla luxmetru, kde opět nejvýraznější chybou je chyba spektrální, ale významné jsou i chyby způsobené špatnou korekcí kosinového nástavce, chyby vlivem přepínání rozsahů apod. Při symetrickém světelném zdroji nebo svítidle lze využít jednu ze čtyřech základních symetrií a tím značně snížit počet měřených bodů. Svítidla a světelné zdroje s „úzkými“ křivkami svítivosti je nutné měřit s vyšším rozlišením měřených bodů, aby nedošlo ke zprůměrování a vyhlazení skutečného tvaru křivek. Čáry svítivosti (někdy nesprávně nazývané křivky svítivosti) bývají nejčastěji měřeny a následně vyjádřeny v soustavě fotometrických rovin C- γ . Při měření čar svítivosti musejí být dodrženy pravidla platnosti fotometrického zákona, aby nešlo ke zkreslení výsledků vlivem nebodovosti

světelného zdroje. K dosažení nejvíce reálného tvaru křivek je vhodné je měřit ve vzdálenosti přibližně odpovídající skutečného použití světelného zdroje od osvětlované roviny.

2.1.1.B Rozsah hodnot dosahovaného světelného toku u světelných zdrojů

Následující *Tabulka 2-1* obsahuje rozsah hodnot dosahovaného světelného toku u jednotlivých zástupců světelných zdrojů.

Tab. 2-1 Rozsah hodnot dosahovaného světelného toku u světelných zdrojů.

Světelný zdroj	Rozsah dosahovaného světelného toku (lm)
Žárovka	20 až 5 600
Halogenová žárovka	60 až 50 000
Lineární zářivka	25 až 14 000
Kompaktní zářivka	100 až 12 000
Rtuťová vysokotlaká výbojka	2 300 až 58 500
Směšová výbojka	1 100 až 13 000
Sodíková nízkotlaká výbojka	1 800 až 33 000
Sodíková vysokotlaká výbojka	1 300 až 130 000
Xenonová výbojka	510 až 550 000
Halogenidová výbojka	2 000 až 1 700 000
LED	6 až 2 880

Z uvedených hodnot v *Tabulce 2-1* je zřejmé, že rozsah dosahovaného světelného toku je u jednotlivých zástupců světelných zdrojů značně rozsáhlý. Nejvyšších hodnot je dosahováno u dnešních světelných zdrojů s nejvyššími jmenovitými příkony – halogenidových výbojek, u kterých se hodnoty mohou pohybovat až v řádu jednotek Mlm pro jeden světelný zdroj. Hodnoty světelného toku pro světelné diody jsou udány pro jednočipová i vícečipová provedení. Dosahovaný světelný tok u světelných zdrojů je ukázkovým příkladem parametru, jenž je v řadě případů vzájemně neporovnatelný, jelikož je uváděn za rozdílných podmínek. U zdrojů teplotních je zpravidla uváděn jako hodnota nového zdroje, zdroje měřeného při výrobě nebo zdroje po zahoření. U zdrojů výbojových je hodnotou udanou taktéž po zahoření. Nicméně tento časový úsek se vzájemně liší, někdy je udán po 100 hodinách provozu, někdy po uplynutí doby 10 % nebo 40 % technického života zdroje. A u světelných diod bývá standardně uváděno několik hodnot světelného toku zároveň. Nejčastěji jako tok dosahovaný při teplotě PN přechodu 20 nebo 25 °C a při průchodu jmenovitého proudu. Zároveň bývá často uveden tok při jiném proudu než jmenovitém (pro světelné diody například 350, 700, 1 000, 1 050, 1 400, 1 500 nebo 3 000 mA pro jeden čip). V katalogových údajích nebo daných datasheetech bývají znázorněny grafické závislosti dosahovaného světelného toku čipu v závislosti na náhradní teplotě chromatičnosti jedné vývojové řady, teplotě přechodu PN a proudu. Také je možné najít relace úbytku světelného toku v závislosti na procentech uplynutí technického života diody za různých provozních podmínek.

2.1.2 Měrný výkon

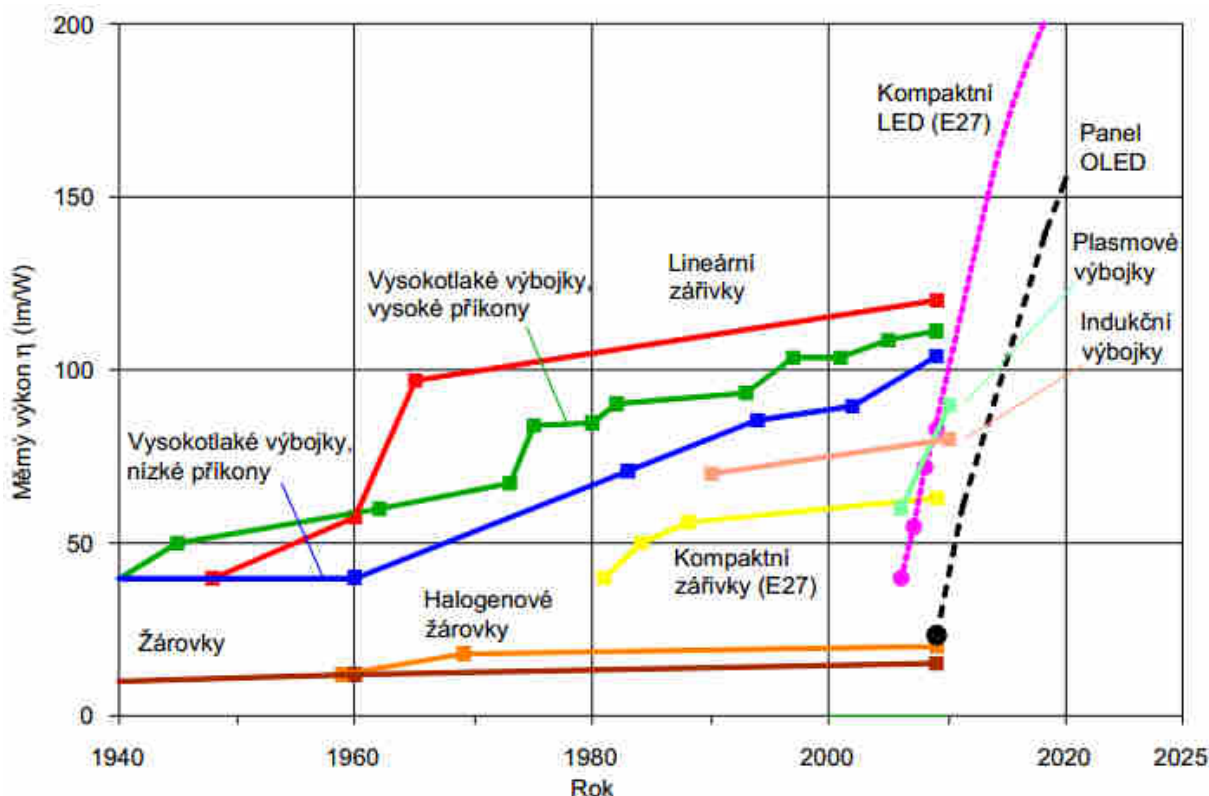
Měrný výkon je velmi často udávanou veličinou u světelných zdrojů. V posledních letech mají „zelenou“ úsporné světelné zdroje a právě udaný měrný výkon je sledovanou veličinou. Udává účinnost přeměny elektrické energie na světlo. Bohužel jako u všeho v přírodě i zde při honbě za vysokými hodnotami veličiny jedné je nutné počítat se snížením jakosti veličin druhých. Podle definice světelného toku má nejvyšší poměr mezi světelným a zářivým tokem monochromatické

záření vlnové délky přibližně 555 nm. Pro maximální dosažení měrného výkonu by tedy bylo nutné přeměnit veškerou elektrickou energii na energii zářivého toku o vlnové délce 555 nm. Poté by z pohledu fotometrie bylo dosaženo maxima a měrný výkon by dosáhl hodnoty $683 \text{ lm}\cdot\text{W}^{-1}$. Takže hodnota $683 \text{ lm}\cdot\text{W}^{-1}$ je teoretickým maximem účinnosti světelného zdroje. Bohužel takovýto monochromatický zdroj nelze prakticky sestavit a i kdyby to bylo možné, při monochromatickém produkovaném světle by podání barev bylo na velmi nízké úrovni, což by velmi znevýhodňovalo použití tohoto zdroje. Měrný výkon můžeme označit různým způsobem, přičemž nepoužívanější jsou označení η , l , M_z a jednotkou jsou $\text{lm}\cdot\text{W}^{-1}$.

U reálných světelných zdrojů se tato veličina z pohledu historického vývoje neustále zvyšuje. Nejnižších hodnot dosahují zdroje teplotní určené pro osvětlování (10 až $30 \text{ lm}\cdot\text{W}^{-1}$). Naopak maxim dosahují vývojově nejnovější zdroje – vysokotlaké sodíkové výbojky a světelné diody (150 až $200 \text{ lm}\cdot\text{W}^{-1}$). V laboratorních podmínkách již došlo k překonání hodnot $200 \text{ lm}\cdot\text{W}^{-1}$, například světelné diody od výrobce Cree dosáhly hodnot $276 \text{ lm}\cdot\text{W}^{-1}$ v roce 2013 [10, 85].

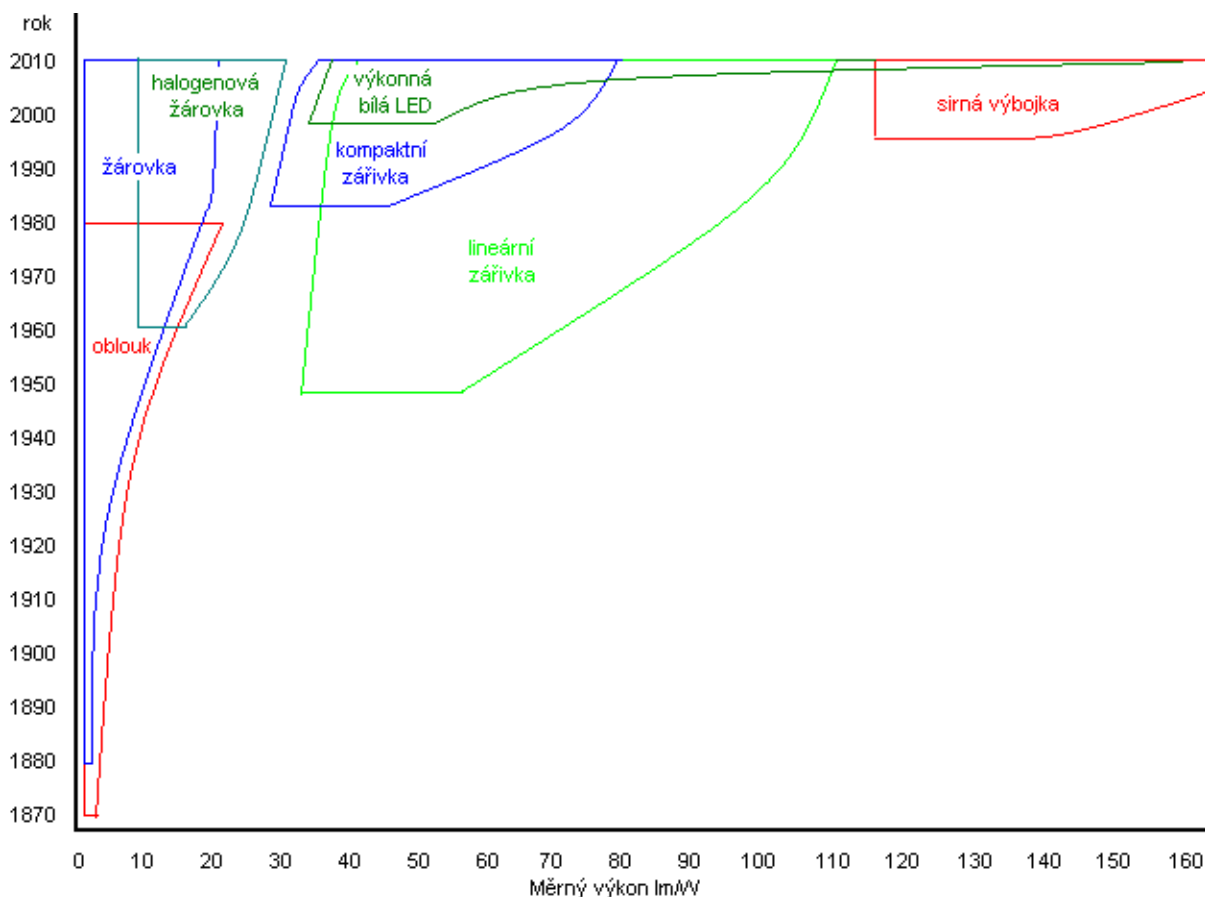
V blízké budoucnosti se očekává vývoj a nasazení do prodeje světelných diod s měrným výkonem až $250 \text{ lm}\cdot\text{W}^{-1}$. Nicméně všeobecně platí, že světelné zdroje s vyšší náhradní teplotou chromatičnosti, jejichž barevný odstín produkovaného světla je v oblasti chladnějších tónů, dosahují vyšších měrných výkonů, než zdroje s „teplým“ světlem. Je to dáno vyzářením většího poměru světelné energie v blízkosti maxima $V(\lambda)$ křivky. I když tyto zdroje mají vyšší hodnoty dosahovaného měrného výkonu, kvalita jimi poskytovaného světla, vyjádřená například pomocí indexu podání barev, je nižší [11].

Na následujícím Obrázku 2-2 je znázorněn předpokládaný vývoj dosahovaného měrného výkonu v nejbližších letech.



Obr. 2-2 Předpokládaný vývoj měrného výkonu u světelných zdrojů pro interní osvětlení (stav k roku 2008) [11].

Na Obrázku 2-3 je uveden historický vývoj dosahovaného světelného toku u světelných zdrojů od počátku jejich vývoje až do roku 2010.



Obr. 2-3 Historický vývoj dosahovaného měrného výkonu u světelných zdrojů [5].

2.1.2.A Měření měrného výkonu

Měření a výpočet měrného výkonu je založen na měření dvou veličin. Problematika měření první fotometrické světelně-technické veličiny - světelného toku, je popsána v kapitole „2.1.1.A Měření světelného toku“. Druhou potřebnou veličinou je příkon světelného zdroje. Tuto veličinu řadíme do elektrických parametrů. Problematika při měření této veličiny je popsána v kapitole „2.2.1.A.a Měření příkonu světelných zdrojů a účinníku“. Výsledný měrný výkon zdroje získáme dle definice dělením dosahovaného světelného toku a příkonu zdroje.

2.1.2.B Rozsah hodnot dosahovaného měrného výkonu u světelných zdrojů

Následující *Tabulka 2-2* obsahuje rozsah hodnot dosahovaného světelného toku u jednotlivých zástupců světelných zdrojů.

Tab. 2-2 Rozsah hodnot dosahovaného světelného toku u světelných zdrojů.

Světelný zdroj	Rozsah dosahovaného měrného ($\text{lm}\cdot\text{W}^{-1}$)
Žárovka	3 až 20
Halogenová žárovka	6 až 25 (30)
Lineární zářivka	16,5 až 128
Kompaktní zářivka	14 až 93
Rtuťová vysokotlaká výbojka	15,6 až 60,5
Směšová výbojka	11 až 26

Světelný zdroj	Rozsah dosahovaného měrného ($\text{lm}\cdot\text{W}^{-1}$)
Sodíková nízkotlaká výbojka	100 až 220
Sodíková vysokotlaká výbojka	36 až 150
Xenonová výbojka	19 až 80
Halogenidová výbojka	56 až 110
LED	6 až 130 (až 250)

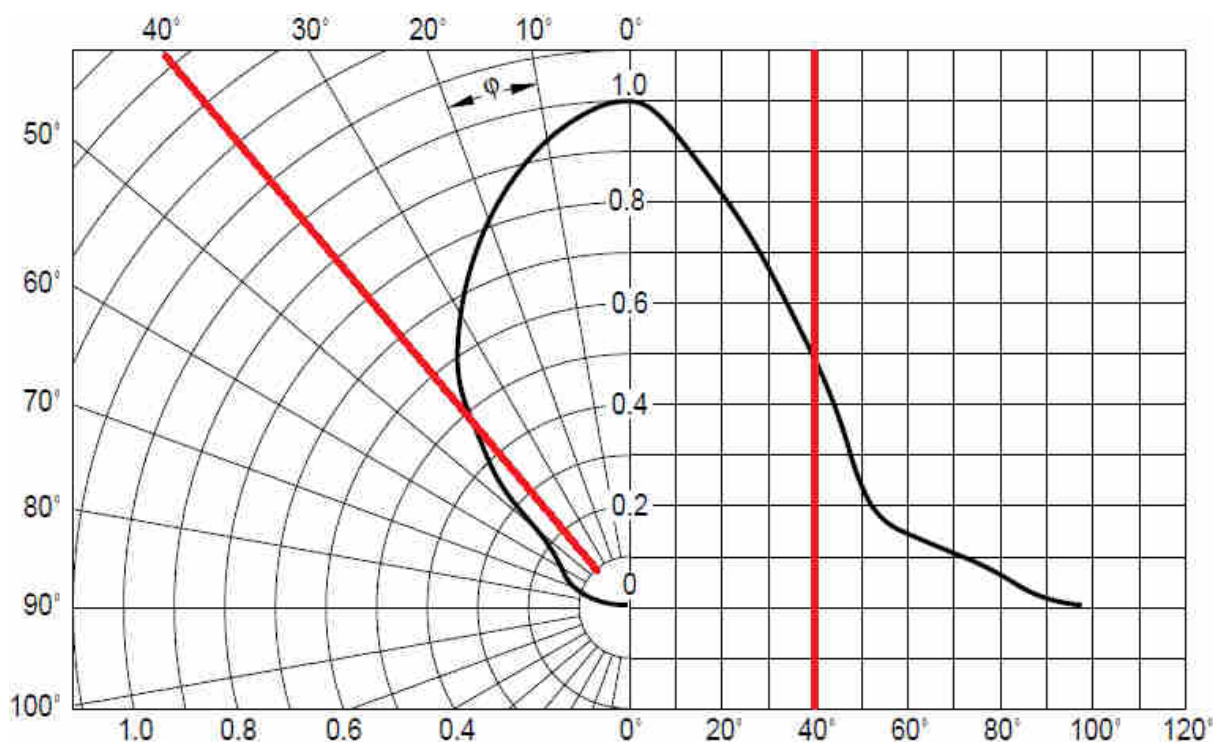
2.1.3 Svítivost a její prostorové rozložení u světelných zdrojů

Tyto parametry mohou být vyjádřeny u všech světelných zdrojů, nicméně především se jedná o malé (jednotlivé) zdroje luminiscenční, u kterých namísto například celkového světelného toku je vydřena právě svítivost a vyzařovaný úhel. Svítivost označujeme I a jednotkou je cd. Společně se svítivostí je také často používán vyzařovaný úhel, který označujeme ω s jednotkou $^\circ$ (stupeň).

Svítivost po fyzikální stránce je možné chápat jako prostorovou hustotu vyzářeného světelného toku. Výpočet je možný provést pomocí následujícího vztahu (2-2) [7].

$$I = \frac{d\Phi}{d\Omega}, \tag{2-2}$$

kde I – svítivost,
 Φ – světelný tok,
 Ω – prostorový úhel.



Obr. 2-4 Čára svítivosti v polárních a kartézských souřadnicích pro světelnou diodu Osram Oslon SSL [9].

V katalogových údajích a datasheetech bývá zakreslena čára svítivosti pouze v jedné fotometrické rovině C- γ , zdroj se tedy uvažuje jako symetrický ve všech rovinách. Svítivost je pak možné vyjádřit jako maximální, vrcholovou hodnotu, nicméně častěji bývá dána jako střední

hodnota. Této střední hodnotě na čáře svítivosti odpovídá vyzařovaný úhel. Pokud u světelné diody nejsou všechny fotometrické roviny stejné, vyjadřuje se tento úhel pro rovinu C0 s označením ω_x a pro rovinu C90 s označením ω_y . Symetrická čára svítivosti u světelné diody je znázorněna na následujícím Obrázku 2-4. Červeně je znázorněna hodnota vyzařovaného úhlu světelné diody nebo jinak uváděný úhel poklesu svítivosti na 50 % s označením $\gamma_{50\%}$.

2.1.3.A Rozsah hodnot dosahované svítivosti a vyzařovaného úhlu u sv. zdrojů

Následující Tabulka 2-3 obsahuje rozsah hodnot dosahované svítivosti u vybraných zástupců světelných zdrojů.

Tab. 2-3 Rozsah hodnot dosahované svítivosti u světelných zdrojů.

Světelný zdroj	Rozsah dosahované svítivosti (cd)
Žárovka	20 až 8 200
Halogenová žárovka	350 až 48 000
Lineární zářivka	Nedostatek údajů
Kompaktní zářivka	300 až 800
Rtuťová vysokotlaká výbojka	Nedostatek údajů
Směšová výbojka	Nedostatek údajů
Sodíková nízkotlaká výbojka	Nedostatek údajů
Sodíková vysokotlaká výbojka	Nedostatek údajů
Xenonová výbojka	Nedostatek údajů
Halogenidová výbojka	Nedostatek údajů
LED	1 až 30 (u některých modelů řádově více)

Tabulka dosahovaných svítivostí je vyplněná jen zčásti a ani zdaleka neodráží realitu u dnešních světelných zdrojů. Bohužel tento údaj je katalogově dostupný pouze pro některé zástupce světelných zdrojů. Pro světelné diody bývá uveden především pro modely s nízkým příkonem, převážně určenými pro signalizační účely. U světelných diod, vysokotlakých výbojek (především výbojek s krátkým obloukem), u výbojek sirných a u všech zdrojů s koncentrovaným prostorem pro vyzařování bývají hodnoty dosahované svítivosti velmi vysoké, mohou se nacházet v jednotkách, desítkách, či stovkách kcd.

Vyzařovaný úhel se u světelných diod bez dalších vnějších opticky aktivních prvků pohybuje v rozsahu 30 až 150 °. Je závislý na ploše čipu diody, tloušťce a povrchu vrstvy luminoforu, vnitřním reflektoru a tvaru průhledného pouzdra diody, především tvarem plochy, kterou je toto pouzdro zakončeno. Při využití vnějších opticky aktivních prvků je možné dosáhnout hodnot nižších než 10 °, realizovatelným limitem jsou přibližně 4 °.

2.1.4 Spektrum světelných zdrojů

Pro běžné potřeby osvětlování je postačující informací o barevných vlastnostech světla uvedení parametru indexu podání barev, teploty chromatičnosti nebo uvedení některých souřadnic z používaných trichromatických systémů. Nicméně tyto parametry, byť často dostupné a u světelných zdrojů navzájem snadno porovnatelné, popisují reálné vlastnosti světelných zdrojů pouze přibližně. Jedná se o integrální parametry z celého spektra. A spektrum původní, ze kterých byly stanoveny, se již nedá zpětně zrekonstruovat. Některé důležité informace se tím ztrácí. Například je spektrum důležité znát pro stanovení odrazných, propustných a absorpčních činitelů opticky aktivních ploch svítidla, osvětlovaných objektů nebo stěn místnosti. Dále pak pro účely výpočtu energetické využitelnosti světelných zdrojů pro osvětlování rostlin nebo pro

využití jakéhokoliv radiometrického výpočtu. Malé světelné zdroje – světelné diody mohou na krátkých vlnových délkách světla vyzařovat velké množství energie, na které se lidské oko nemůže adaptovat a hrozí tak jeho zdravotní poškození. Do této problematiky spadá i tzv. „Blue Hazard“ a pro jeho kvantifikaci je opět nutná znalost spektrální distribuce světelných zdrojů. A v neposlední řadě graficky znázorněné rozložení spektra na první pohled vypovídá mnoho informací o světelném zdroji. Podle jeho specifického rozložení je možné určit typ světelného zdroje a početně pak vyčíslit parametry jako je teplota chromatičnosti nebo náhradní teplota chromatičnosti, určit index podání barev a dominantní vlnovou délku zdroje.

Většina světelných zdrojů při své činnosti nevyzařuje energii pouze v oblasti světla, ale takřka vždy je část energie vyzařena v oblasti IR a v oblasti UV. Znalost vyzařování v oblasti IR je potřebná v případě realizace dichroických reflektorů a určení tepelného zatížení komponentů svítidel tepelným IR zářením. Znalost distribuce energie v oblasti UV je potřebná v případě použití luminiscenčních materiálů nebo luminoforů, jenž mají za úkol toto záření převést do oblasti viditelné oblasti spektra. Energetická bilance v UV oblasti spektra je taktéž důležitá pro výběr konstrukčních materiálů pro svítidla, která by mohla podléhat degradaci vlivem tohoto záření. Pro účely osvětlování rostlin (resp. jejich ozařování) je taktéž nutná znalost spektrální distribuce v dlouhovlnném ultrafialovém záření UVA a blízkém infračerveném záření NIR.

2.1.4.A Měření spekter

Princip je založen na rozkladu přicházejícího záření/světla ze světelného zdroje nebo svítidla na opticky aktivním hranolu nebo mřížce. Záření musí ale nejprve projít přes úzkou štěrbinu a právě šířka této štěrbinu a přesnost mechanismu pohybu jednotlivých částí udává přesnost měření nebo-li šířku měřeného pásma. Čím kratší šířka, tím věrohodněji je spektrum měřeno. Část takto získaného rozloženého spektra případně „jedna“ vlnová délka přichází na senzor, který měří energii v $W \cdot m^{-2} \cdot nm^{-1}$. Grafické vyjádření je kvůli vzájemnému porovnání nečastěji vyjádřeno v poměrných jednotkách, procentech vrcholové hodnoty naměřeného spektra. Vždy je tato závislost vyjádřena na vlnové délce záření, výjimečně na frekvenci. Zařízení měřící pouze v oblasti viditelného spektra se nazývá spektrofotometr, v případě měření i v oblasti UV a IR je užíván název spektroradiometr.

2.1.4.B Spektrální distribuce u světelných zdrojů

Uvádění spekter světelných zdrojů, jako katalogový údaj, má spoustu výhod. Kromě rychlého a přehledného grafického znázornění vlastností produkovaného světla zdroji, umožňuje provádět výpočet dalších světelně-technických parametrů. Zpravidla málokdy je spektrum k dostání v podobě číselné tabulky nebo číselné řady, většinou se jedná o grafické znázornění v již needitovatelném grafu, takže pro jeho získání je nutné provést jeho digitalizaci. Tímto způsobem dochází vždy k určitému zkreslení a tudíž i k zavlečení dalších chyb a nejistot. Nutná je také znalost šířky pásma spektrofotometru, při které bylo spektrum pořízeno.

Tab. 2-4 Oblasti IR záření [12].

Název česky	Název anglicky	Zkratka	Zkratka dle DIN	Rozsah vl. délek
Blízké	Near	NIR	IR-A	0,78 - 1,4 μm
Krátké	Short Wave	SWIR	IR-B	1,4 - 3 μm
Střední	Mediu Wave	MWIR	IR-B	3 - 8 μm
Dlouhé	Long Wave	LWIR	IR-C	8 - 15 μm
Vzdálené	Far	FIR		15 – 1 000 μm

Oblast infračerveného záření má pro naše účely význam pouze v oblasti blízkých a krátkých vlnových délek. Ultrafialové oblasti jsou důležité všechny. V *Tabulkách 2-4* a *2-5* jsou znázorněny dělení a rozsahy vlnových délek pro jednotlivé oblasti IR a UV záření.

Tab. 2-5 Oblasti UV záření [13].

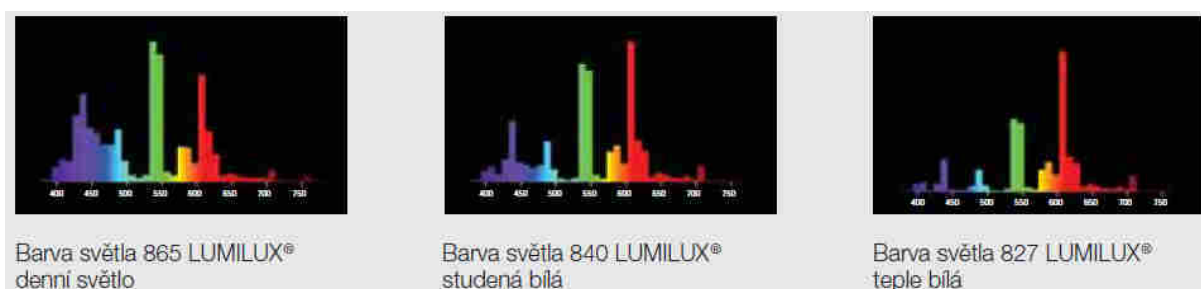
Název česky	Název anglicky	Zkratka	Rozsah vl. délek
Dlouhovlnné	Ultraviolet A	UVA	380 – 320 nm
Středovlnné	Ultraviolet B	UVB	320 – 280 nm
Krátkovlnné	Ultraviolet C	UVC	280 – 200 nm
Daleké	Far Ultraviolet	FUV, VUV	200 – 10 nm
Hluboké, extrémní	Extrémně Ultraviolet	EUV, XUV	31 – 1 nm

Viditelné světlo má rozsah vlnových délek 380 až 780 nm, někdy je udávána frekvence elektromagnetického záření 390 až 790 THz. Ve spektru můžeme rozlišit devět základních spektrálních barev, jejichž rozsahy vlnových délek jsou uvedeny v následující *Tabulce 2-6*.

Tab. 2-6 Spektrální barvy [6].

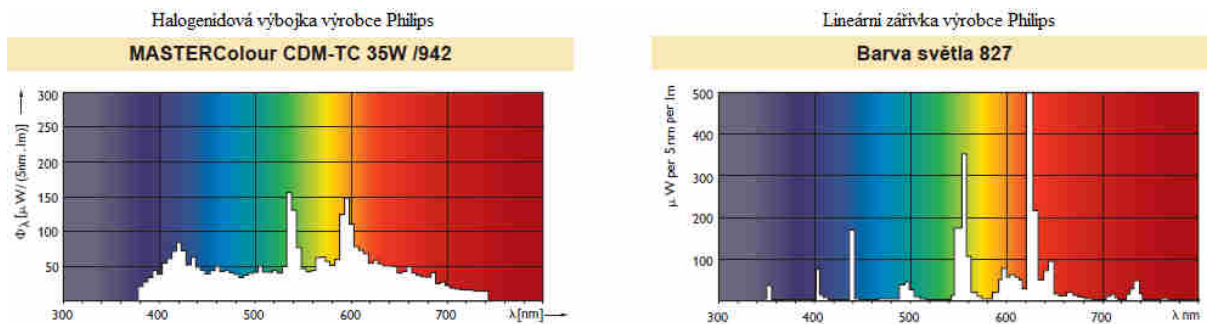
Spektrální barva	Rozsah vlnových délek
Fialová	380 až 430 nm
Modrofialová	430 až 465 nm
Modrá	465 až 490 nm
Modrozelená	490 až 500 nm
Zelená	500 až 560 nm
Zelenožlutá	560 až 575 nm
Žlutá	575 až 585 nm
Oranžová	585 až 620 nm
Červená	620 až 780 nm

Příklady spektrální distribuce na vlnových délkách v rozsahu 380 až 780 nm pro kompaktní zářivky Osram Dulux Lumilux s měřenou šířkou pásma 10 nm jsou znázorněny na následujícím *Obrázku 2-5*.



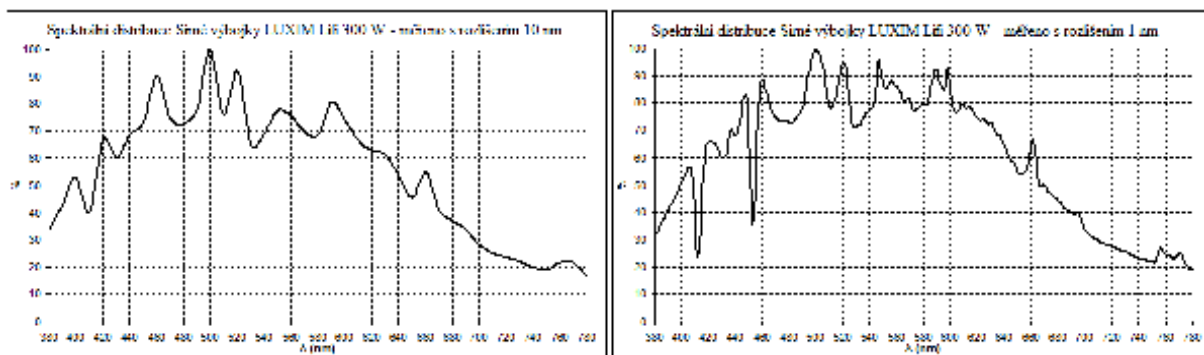
Obr. 2-5 Ukázka spektrálních distribucí kompaktních zářivek Osram Dulux uvedených v katalogu výrobce [14].

Příkladem spektrálních distribucí světelných zdrojů uváděných v katalogích firmy Philips jsou zobrazeny na následujícím *Obrázku 2-6*. Tentokrát je spektrum naměřené se šířkou 5 nm.



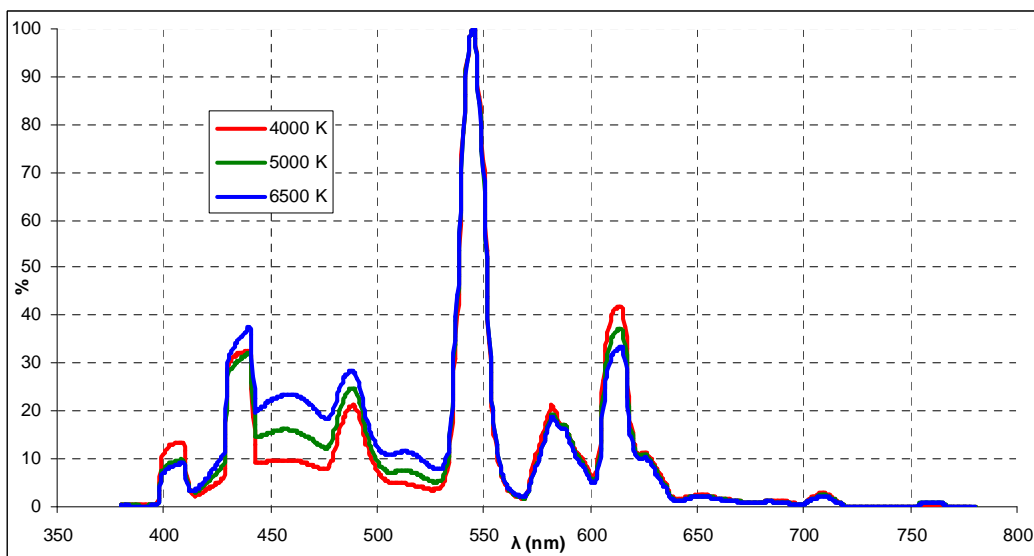
Obr. 2-6 Ukázka spekter světelných zdrojů uváděných v katalogích firmy Philips [15].

Pro ukázkou závislosti různé použité šířky měřeného pásma spektrální distribuce na tvar křivky jsou znázorněny dva grafy na Obrázku 2-7. Jedná se o měření spektra u sítě výbojky Luxim Lifi 300 W. Levý graf je měřen s šířkou pásma 10 nm a pravý 1 nm. Je zde názorně patrné, že levý graf nemá takové rozlišení a průběh je více hladký, je tedy více „zprůměrovan“.



Obr. 2-7 Ukázka vlivu šířka pásma na spektrální distribuci u sítě výbojky Luxim Lifi 300 W.

Na uvedených spektrálních distribucích je jasně patrná rozdílnost grafického znázornění těchto průběhů. Průběhy se šířkou měřeného pásma vyšší jak 10 nm a vertikálním rozlišení menším jak 100 bodů (pixelů) není možné použít vůbec. Po následné digitalizace by byla takto získaná data nevhodná jak pro účely porovnání jednotlivých spekter, ale i pro výpočet dalších světelně-technických parametrů.



Obr. 2-8 Spektrální distribuce u zářivek s rozdílnou náhradní teplotou chromatičnosti.

U nízkotlakých výbojových světelných zdrojů s luminoforem je změna náhradní teploty chromatičnosti dosažena pouhou změnou poměru jednotlivých příměsí. Příkladem může být graf na *Obrázku 2-8*, jenž znázorňuje spektrální distribuci zářivek při rozdílné náhradní teplotě chromatičnosti. Je z něho patrné, že v jistých částech spektra jsou jednotlivé průběhy překryty a jinde se liší.

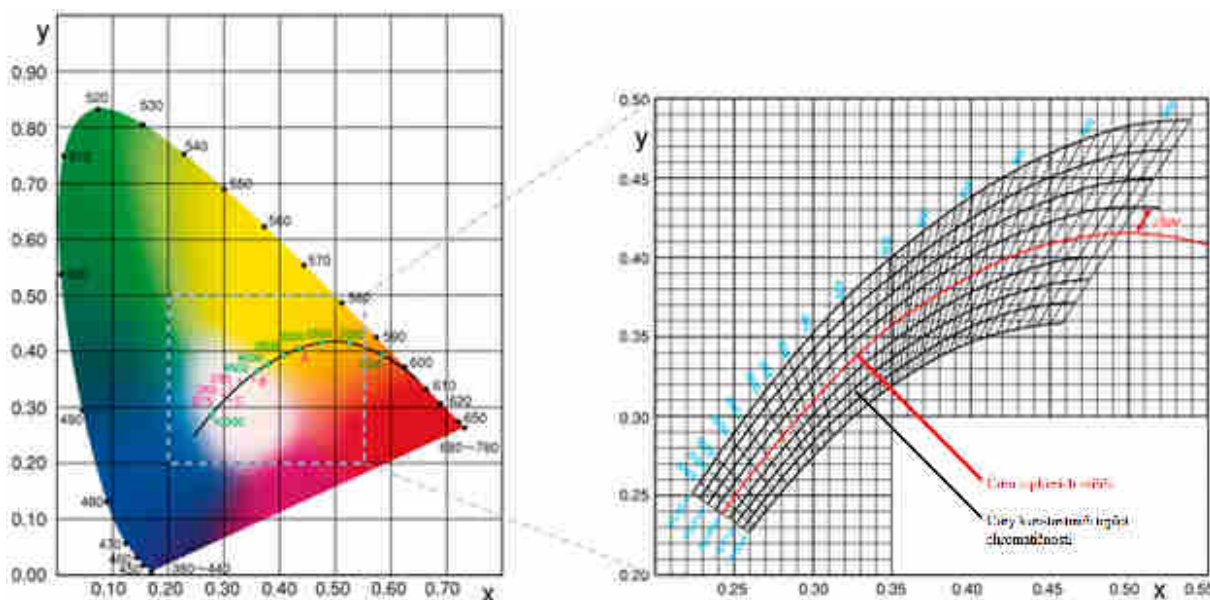
2.1.5 Kolorimetrické vlastnosti produkovaného světla

Parametry a vlastnosti světelných zdrojů obsažené v této kapitole sice patří do skupiny světelně-technických parametrů, ale zároveň patří do skupiny parametrů souvisejících s vjemem barvy. Souvisí to tedy s vyhodnocením zrakovým vjemem pozorovatele. Parametry to jsou z pohledu přínosu pro databázi velmi důležité, protože právě ony ovlivňují celkový dojem z osvětlení. V katalogích se setkáváme s těmito parametry:

- Teplota chromatičnosti,
- náhradní teplota chromatičnosti,
- barevné souřadnice XYZ a RGB (případně v relativním měřítku x, y nebo r, b),
- barva produkovaného světla,
- podání barev a index podání barev.

2.1.5.A Teplota a náhradní teplota chromatičnosti

Teplota chromatičnosti nám ve většině případů postačuje k popisu vjemu barvy nebo barevných vlastností světla, které je vyzařováno teplotními světelnými zdroji. Z fyzikálního principu lze teplotu chromatičnosti chápat jako teplotu absolutně černého tělesa, které způsobí stejný barevný vjem, jako hodnocený světelný zdroj. Teplotu chromatičnosti označujeme T_c , jednotkou je K [7].



Obr. 2-9 Čára teplotních zdrojů zakreslená s souřadnicích x, y s vyznačenými čarami konstantních chromatičností [16].

Všechny teplotní světelné zdroje leží na tzv. čáře teplotních zářičů, která je v souřadnicích x, y graficky znázorněna na následujícím *Obrázku 2-9*. Nicméně pro reálné teplotní zdroje platí tato křivka pouze přibližně. Proto zavádíme pojem ekvivalentní teplota chromatičnosti, značíme ji symbolem T_e . Je zde ještě zaveden často používaný pojem náhradní teplota chromatičnosti. Označení této veličiny je T_n . Tuto teplotu mají především zdroje, jejichž spektrální distribuce není hladká a vykazuje velké výkyvy (např. výbojové světelné zdroje). Bod vyjádřený u těchto

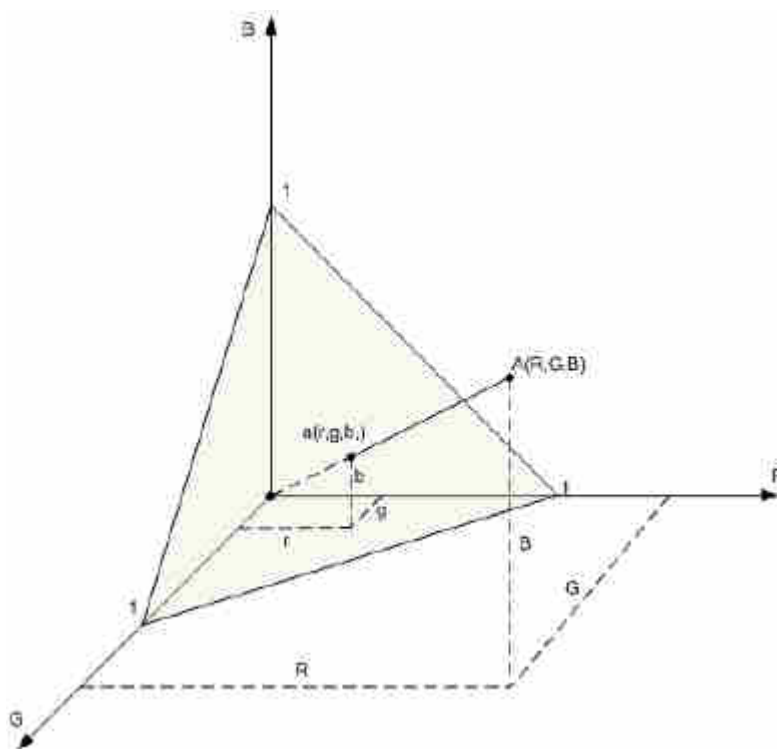
zdrojů v souřadnicích x, y poté neleží na čáře teplotních zdrojů, nicméně je ho možné vždy položit na tzv. čáru konstantních chromatičností. Každá z těchto čar má určitou „náhradní“ teplotu podle toho, v jaké místě protíná čáru teplotních zářičů. Čáry konstantních teplot chromatičnosti jsou vyneseny v druhé části grafu na následujícím Obrázku 2-9 [6, 7].

Teplotu chromatičnosti a náhradní teplotu chromatičnosti můžeme určit několika způsoby. Pokud jsou známy některé ze souřadnic v trichromatickém systému, je možné teplotu chromatičnosti určit z polohy na čáře teplotních zářičů. To ovšem platí pouze pro teplotní světelné zdroje. Pro zdroje ostatní lze teplotu určit z průtnutí některé čáry konstantní teploty chromatičnosti. Druhým způsobem je možnost jejího výpočtu z naměřeného spektra. A třetím, nejméně komplikovaným způsobem, je její přímé měření pomocí zkalibrovaných chromametrů.

2.1.5.B Barva produkovaného světla světelnými zdroji

Kromě teplot chromatičnosti bývají katalogově udávané informace o barvě světla produkované světelným zdrojem vyjádřeny buď pomocí přímého pojmenování barvy nebo udáním dvou relativních souřadnic z některých trichromatických soustav. Používané trichromatické soustavy se tedy používají k popisu barvy světla pomocí absolutních nebo relativních souřadnic. Pro charakterizování barvy těmito soustavami v absolutních hodnotách bývají vždy zapotřebí tři čísla, proto se také dané soustavy nazývají trichromatické. V oblasti světelné techniky a osvětlování se používají dva systémy – RGB a XYZ. Trichromatický systém UVW je zpravidla používán pouze při výpočtu indexu podání barev.

2.1.5.B.a Trichromatický systém RGB



Obr. 2-10 Trichromatický souřadnicový systém RGB [7].

První trichromatický systém RGB je založen na aditivním míchaní tří nezávislých reálných vhodně zvolených světél. Tyto světla pak tvoří základ této trichromatické soustavy. Světla jsou zvolena tak, aby byla od sebe z pohledu chromatičnosti co nejvíce vzdálena. Pro systém RGB

jsou to světla buď monochromatická nebo světla s maximem na vlnové délce $\lambda_{Rmax}=700$ nm; $\lambda_{Gmax}=546,1$ nm; $\lambda_{Bmax}=435,8$ nm. Na *Obrázku 2-10* je znázorněn trichromatický souřadnicový systém RGB. Jakékoliv světlo zakreslené v prostoru souřadnic RGB lze získat jako vektorový součet složek světél základních. Tím pádem lze vyzařovanému světlu od světelného zdroje přiřadit konkrétní souřadnice [7].

Prakticky je užíváno popisu souřadnic v tzv. relativním měřítku. Reálný světelný zdroj má své absolutní složky RGB v bodě A. Spojnice bodu A a počátku souřadnicového systému protíná jednotkovou plochu. Průsečný koncový bod odpovídá souřadnici *a*, popsanou souřadnicemi *r*, *g*, *b*. Je tedy vyjádřen v relativním měřítku trichromatického souřadnicového systému RGB. Přepočítání mezi složkami a souřadnicemi je možné provést pomocí následujících vztahů (2-3) až (2-5) [7].

$$r = \frac{R}{R + G + B} \tag{2-3}$$

$$g = \frac{G}{R + G + B} \tag{2-4}$$

$$b = \frac{B}{R + G + B} \tag{2-5}$$

Hlavní výhodou relativního vyjádření je lineární nezávislost pouze dvou souřadnic. Třetí již neudávanou souřadnici lze vypočítat jako doplněk do jedničky podle vztahu (2-6).

$$r + g + b = 1 \tag{2-6}$$

2.1.5.B.b Trichromatický systém XYZ

Jelikož má systém RGB z pohledu praktického uplatnění ve světelné technice a osvětlování řadu nevýhod, byl nahrazen systémem XYZ. Je to tedy druhý a dnes daleko častěji používaný systém. V systému RGB například nelze zobrazit monochromatické světelné zdroje, ani zdroje blízké k monochromatickým. Některá z jejich souřadnic nabývá záporných hodnot. V systému XYZ mají všechny reálné světelné zdroje své souřadnice kladné. Dále pak je převážná část trichromatického trojúhelníka v systému RGB věnována delším vlnovým délkám, což je v rozporu s potřebami osvětlování, resp. citlivostí lidského oka. Mezi používaným systémem RGB a systémem XYZ lze přejít pouze pomocí transformační matice (2-7) [7].

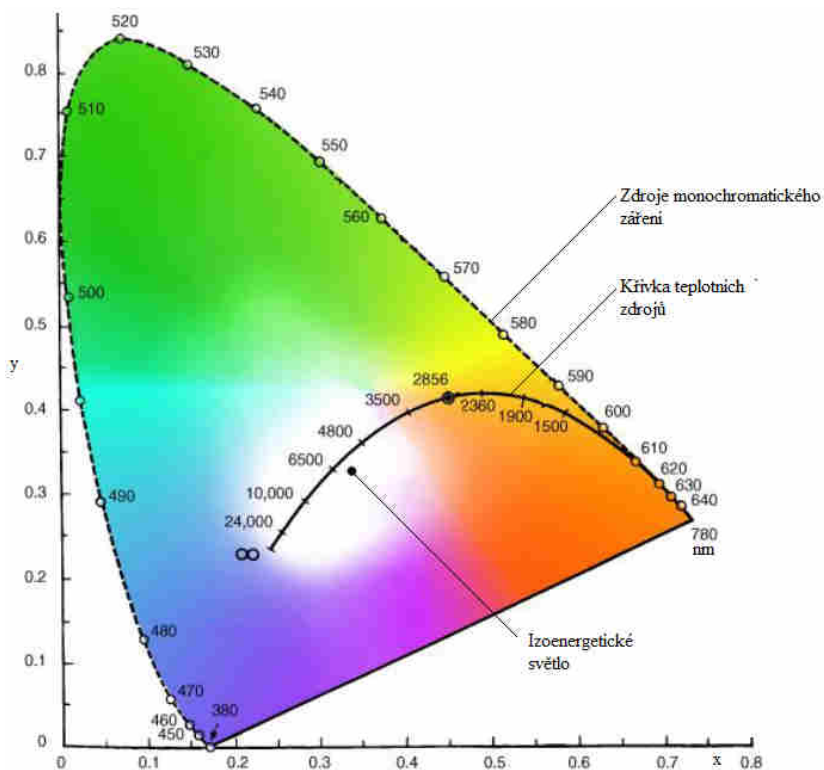
$$\begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0,490 & 0,310 & 0,20 \\ 0,17697 & 0,81240 & 0,01063 \\ 0,00 & 0,010 & 0,99 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} R \\ G \\ B \end{bmatrix} \tag{2-7}$$

Systém je záměrně volen tak, aby izoenergetické světlo leželo přesně v těžišti trojúhelníku XYZ a fotometrický obsah je přímo udán pouze absolutní velikostí souřadnice Y. Výsledkem změna souřadnic XZ mění barvu světla a souřadnice Y mění intenzitu. Pro jednoduchý výpočet jasů z souřadnice Y je možné použít následující vztah (2-8) [7].

$$L = 683 \cdot Y \tag{2-8}$$

Stejně jako v systému RGB i zde je možné používat absolutní vyjádření pomocí tří nezávislých složek X, Y, Z nebo pomocí relativních souřadnic *x*, *y*, *z*, ze kterých jsou nezávislé pouze dvě. Přepočítání se provádí stejně jako v systému RGB pomocí vztahů (2-3) až (2-5).

Na Obrázku 2-11 je graficky znázorněn trichromatický trojúhelník systému XYZ podle CIE 1931 se zakreslenou křivkou teplotních zdrojů.



Obr. 2-11 Trichromatický trojúhelník systému XYZ - CIE 1931 [7].

Obálku trichromatického trojúhelníku systému XYZ tvoří monochromatické zdroje. Převážná část plochy trojúhelníku je věnována zdrojům s maximem spektrální distribuce poblíž středu $V(\lambda)$ křivky. Izoenergetické světlo o souřadnicích $x=0,33$ a $y=0,33$ leží v těžišti trojúhelníku.

Vyjadřování barevných vlastností vyzařovaného světla pomocí trichromatických systémů se jako katalogový údaj používá především u bílých světelných diod některých výrobců. Uvedené souřadnice, závislé na náhradní teplotě chromatičnosti, jsou u bílých diod souřadnice x , y v rozsahu přibližně 0,3 až 0,4.

2.1.5.B.c Přímé pojmenování barevného odstínu produkovaného světla

S rozšířením nových typů světelných zdrojů na počátku 90. let bylo náhle k dostání velké množství světelných zdrojů s různou „barvou“ produkovaného světla. Na tento problém spotřebitelé narazili již s příchodem používání lineárních zářivek, kdy bylo možné zakoupit zářivky „chladné“ a zářivky „teplé“. Pro laickou veřejnost by bylo v historickém kontextu složité používat pojmy jako „náhradní teplota chromatičnosti“ nebo užívání některého z trichromatických systémů. Proto se zavedlo přímé a jednoduché pojmenování barevného odstínu produkovaného světla. Používaná terminologie je užívána především u kompaktních a lineárních zářivek a v poslední době i u světelných diod. Používání této terminologie jednotlivými výrobci není jednotné. Standardní sortiment vyráběných lineárních zářivek používá terminologii uvedenou v následující Tabulce 2-7, pro kompaktní zářivky platí Tabulka 2-8 a pro světelné diody Tabulka 2-9.

Tab. 2-7 Barevné odstíny u lineárních zářivek [5].

Barevný odstín česky	Barevný odstín anglicky	Náhradní teplota chromatičnosti
Teplá bílá, žlutá		2 500 K
Teplá bílá, interna	Home Light	2 700 K
Teplá bílá, Neutrální bílá	Warm White, Neutral	3 000 K
Bílá	White, Bright White	3 500 K
Studená bílá	Cool White	4 000 K
Denní bílá, Chladná bílá	Day White	6 000 až 6 500 K
-	Skywhite	13 000 až 17 000 K

Tab. 2-8 Barevné odstíny u kompaktních zářivek [6].

Barevný odstín česky	Barevný odstín anglicky	Náhradní teplota chromatičnosti
Teplá bílá	Warm White	2 000 až 3 500 K
Neutrální bílá	White, Bright White	3 500 až 5 300 K
Chladná bílá	Cool White, Cold White	5 300 až 6 500 K

Tab. 2-9 Barevné odstíny u světelných diod [5].

Barevný odstín česky	Barevný odstín anglicky	Náhradní teplota chromatičnosti
Teplá bílá	Warm White	3 200 až 3 700 K
Neutrální bílá	White, Bright White	4 000 K
Chladná bílá	Cold White	5 300 až 5 400 K

2.1.5.C Podání barev a index podání barev

Index podání barev je velmi často udávaným parametrem, který jako jediný přímo souvisí s kvalitou produkovaného světla světelnými zdroji. Pomocí parametru „podání barev“ můžeme vyjádřit vliv spektrální distribuce světelného zdroje na vjem barvy osvětlovaných předmětů tímto zdrojem. Pokud je tento údaj vyjádřen číselně, nazýváme ho „index podání barev“. Index podání barev označujeme R_a a jednotkou jsou buď % nebo je veličina udávána bez rozměru.

Příčemž 100 % náleží spektru, kde vjem barvy osvětlovaných objektů je nejlepší. Příkladem jsou teplotní zdroje. Naopak 0 % je hodnota pro monochromatické zdroje. Hodnota „0“ se udává i pro zdroje, u nichž při výpočtu vyjde tato veličina jako záporná. Příkladem je nízkotlaká sodíková výbojka, u které vypočtená hodnota indexu podání barev leží v rozmezí -20 až -40. Pro účely osvětlení interiérů je potřebná hodnota R_a vyšší jak 80. Z dnešních světelných zdrojů tuto podmínku nesplňují pouze nízkotlaké a vysokotlaké sodíkové výbojky a starší provedení výbojek vysokotlakých rtuťových. Často užívanou zkratkou je *CRI* z anglického „Color Rendering Index“.

2.1.5.C.a Měření indexu podání barev

Měření indexu podání barev se zpravidla provádí pomocí automatických měřicích systémů, jejichž výstupem je přímo vyjádřená hodnota R_a . Při manuálním měření se vychází z měření odchylky barevného vnímání několika barevných referenčních vzorků nejprve osvětlovaných měřeným zdrojem světla, poté zdrojem referenčním-srovnávacím. Odchylky jsou vyjádřeny pomocí trichromatického systému UVW. Princip měření je také komplikován potřebou nalezení vhodného referenčního-srovnávacího zdroje světla, jehož teplota chromatičnosti není příliš

odlišná od zdroje měřeného. Pro teploty chromatičnosti do 5 000 K se používá jako zdroj černý zářič. Nad 5 000 K zdroj se spektrem srovnatelným s normalizovaným denním bílým světlem D.

2.1.5.C.b Rozsah hodnot dosahovaného indexu podání barev u světelných zdrojů

Následující *Tabulka 2-10* obsahuje rozsah hodnot dosahovaného indexu podání barev vybraných zástupců světelných zdrojů.

Tab. 2-10 Rozsah hodnot dosahované svítivosti u světelných zdrojů.

Světelný zdroj	Index podání barev R_a
Žárovka	<100
Halogenová žárovka	<100
Lineární zářivka	50 až 98
Kompaktní zářivka	59 až 90
Rtuťová vysokotlaká výbojka	36 až 65
Směšová výbojka	50 až 72
Sodíková nízkotlaká výbojka	0 (dle principu výpočtu je tato hodnota záporná -40)
Sodíková vysokotlaká výbojka	20 až 65 (DeLuxe provedení až 80)
Xenonová výbojka	80 až 89
Halogenidová výbojka	65 až 90
LED	79 až 93

Index podání barev má sloužit jako ukazatel „kvality“ produkovaného světla zdroji. Nicméně princip výpočtu byl vytvořen v době, kdy jediným uspokojivým světelným zdrojem byla žárovka. Takže při výpočtu jsou teplotní světelné zdroje brány jako ideální a všechny ostatní zdroje s jinou spektrální distribucí nemohou dosahovat nejvyšších hodnot. Teplotní zdroje převážnou část své energie vyzáří v oblasti IR a v oblasti viditelného světla je nejvíce energie vyzářeno v oblasti spektra s delšími vlnovými délkami. Proto také například světelné diody nikdy nemohou nedosáhnout maximálních hodnot R_a , protože v jejich spojitém spektru je pouze minimum energie vyzářeno v oblasti červené a oranžové, kde je lidské oko stejně minimálně citlivé. Proto by pro účely databáze neměl být parametr „index podání barev“ absolutním kritériem pro určení kvality poskytovaného světla, ale mělo by být přihlédnuto ke skutečné spektrální distribuci. Nicméně částečné řešení tohoto problému nabízí nově zavedený parametr $R_{a,2012}$ (podle metodiky CRI2012), jenž více zohledňuje činnost lidského oka a má lineární závislost pocitového vjemu parametru R a hodnoty $R_{a,2012}$ [86].

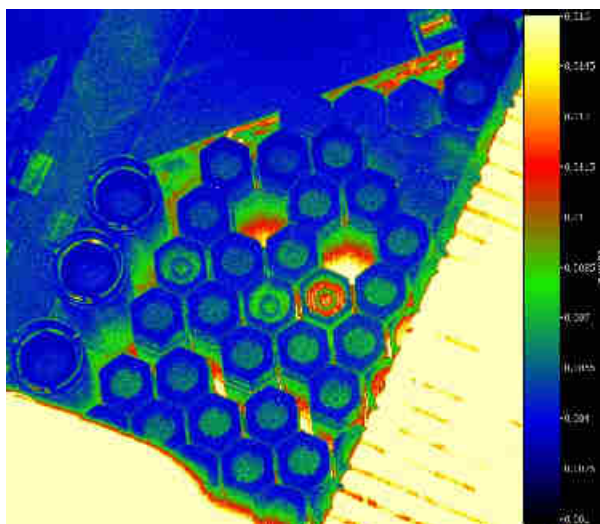
2.1.6 Jas

Znalost rozložení jasu na světelném zdroji a jeho maximální hodnota jsou důležité z pohledu návrhu svítidla tak, aby se zabránilo případnému vzniku oslnění. Pro hodnocení oslnění je dnes nejčastěji využíváno metodiky UGR. Jas je měřen buďto jako bodový pomocí jasoměru nebo je možné využít digitální fotografii. Jas označujeme L a jednotkou jsou cd.m^{-2} .

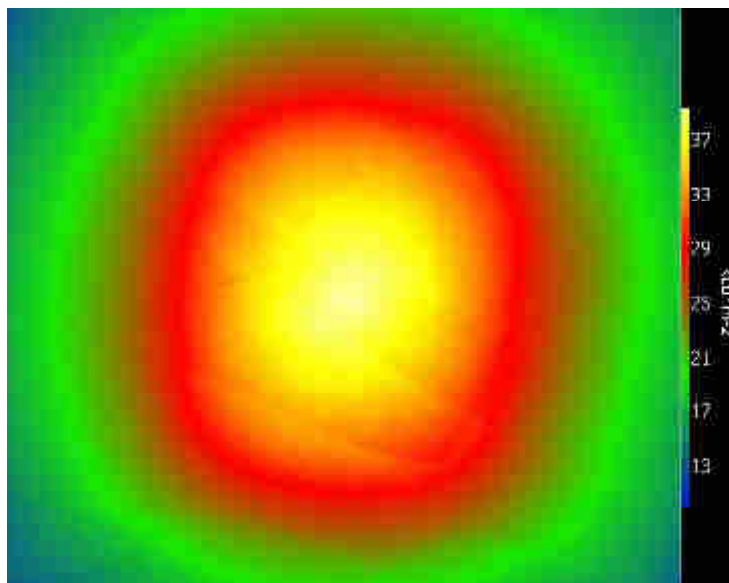
Princip měření jasu pomocí digitální fotografie je následující. Pomocí zkalibrovaných digitálních fotoaparátů je možné pořídit několik fotografií s různou expozicí. Ty poté zpracovat za pomoci výpočetní techniky a obdržet fotografii s vysokou dynamickou jasou HDR. Tak je možné najednou zaznamenat vysoké i velmi nízké jasy. Pomocí vyhodnocovacího software, například programu LumiDISP (Luminance Distribution Processing Software), se fotografie převede do jasové mapy s vhodným a podle potřeby i logaritmickým měřítkem zobrazených hodnot. Tímto způsobem je možné měřit jas od jednotek mcd.m^{-2} po jednotky Mcd.m^{-2} . Tento

způsob měření jasů má dnes velkou perspektivu. Je možné měřit jas a jeho distribuci, vyjadřovat rovnoměrnost jasů a provádět jasové řezy. Lze s ním tedy hodnotit svítidla i světelné zdroje, provádět různá fotometrická měření, jako jsou například čáry svítivosti. Dále pak hodnotit kvalitu nejrozličnějších zobrazovačů, displejů a provádět praktická měření například v interiérech, měřit osvětlení a rovnoměrnost osvětlení komunikací apod. V porovnání s konvenčním způsobem měření jasů pomocí jasoměrů, kdy se měří pouze jeden jediný bod, je měření digitálním fotoaparátům rychlejší, přesnější, s řádově menším měřeným prostorovým úhlem – tedy vyšším rozlišením. A samozřejmě při pořízení jednoho snímku se naráz změří řádově milióny bodů s daným prostorovým úhlem. Výhodou je také užívání různých objektivů, včetně tzv. rybího oka (Fish Eye), pomocí kterého je možné naráz změřit celý poloprostor. Výpočtem je poté možné přímo stanovit hodnotu UGR [6, 17, 18].

Na *Obrázku 2-12* je znázorněn příklad jasové mapy vytvořené programem LumiDISP. A na *Obrázku 2-13* je jasová mapa světelné diody.



Obr. 2-12 Jasová mapa získaná programem LumiDISP.



Obr. 2-13 Jasová mapa (distribuce) světelných diod.

2.2 Statické parametry světelných zdrojů – elektrické

Elektrické parametry světelných zdrojů se především týkají parametrů napájecích. Jednotliví zástupci světelných zdrojů mají své specifické napájecí vlastnosti. Některé zdroje jsou napájeny konstantním napětím, jiné konstantním proudem. Značná část dnešních moderních zdrojů je vybavena interními nebo externími předřadnými systémy, které mají za úkol upravit napájecí veličenu do velikosti použitelné pro světelný zdroj a zamezit tak vlivu rušení ze sítě na zdroj a naopak. Požadavkem je, aby činnost světelného zdroje odpovídala podmínkám EMC. A v neposlední řadě dnes jde především o ekologicky a energeticky méně náročný (nenáročný) provoz světelných zdrojů a svítidel. Za tímto účel je jako katalogová hodnota udáván tzv. „energetický štítek“, který svým jednoduchým dělením řadí světelné zdroje nebo svítidla do některé ze skupin s určitou energetickou náročností.

2.2.1 Parametry napájení

Až na výjimky světelných zdrojů provozovaných z baterií, používaných například jako nouzové osvětlení, je většina napájena ze sítě. Samotnou napájecí síť je možné definovat několika základními provozními parametry, které se uvádějí jako jmenovité hodnoty. Třífázová napájecí distribuční soustava nízkého napětí v ČR má jmenovitou hodnotu napětí 3x400 V, resp. 231 V fázové hodnoty. Uváděnou veličinou jednofázového rozvodu je hodnota 230 V s tolerancí +/- 10 %. Druhou charakteristickou veličinou distribuční sítě je frekvence 50 Hz, jejíž přesnost je +/- 0,5 Hz (resp. mezní +/- 3 Hz). Maximální možný odebíraný výkon je omezen jistíci prvky - maximální hodnotou proudu v daném místě odběru. Následující kapitoly jsou děleny na jednotlivé napájecí parametry, které jsou u světelných zdrojů udány v katalogových listech nebo laboratorně naměřeny.

2.2.1.A Příkon světelného zdroje a jeho účinník

Činný příkon světelného zdroje je hlavním elektrickým parametrem. Je to štítková hodnota udávaná výrobcem u každého světelného zdroje. Uvažujeme-li konstantní napájecí napětí, příkon zdroje nám definuje velikost napájecího proudu, na který dimenzujeme proudovodnou dráhu. Žádný reálný světelný zdroj nemá vyšší účinnost přeměny elektrické energie na světlo jak cca 30 %. To znamená, že minimálně 70 % vstupní energie je ztráta, která se dle principu činnosti světelného zdroje mění na nízkopotencionální nebo vysokopotencionální tepelnou energii, jež je nutné ze světelného zdroje nebo svítidla odvést. Takže velikost příkonu je orientačním ukazatelem pro odhad tepelných ztrát zdroje a tedy i možného umístění a dimenzování okolních materiálů na tepelné účinky. A především nám příkon zdroje společně s dosahovaným světelným tokem udává účinnost respektive měrný výkon, který je jedním z nejsledovanějších a vzájemně nejvíce porovnávaných parametrem světelných zdrojů i celých svítidel.

Z důvodů dnes velmi rozšířených napájecích předřadných systémů je možný uvádět ještě jeden druh činného příkonu zdroje. Tedy příkon světelného zdroje přímo na jeho světelné aktivním prvku, u výbojových zdrojů je to trubice nebo hořák, u světelných diod vlastní polovodičový čip a u teplotních zdrojů samotná žárovka. Kvůli účinnosti předřadných systémů menších než 100 % je tento příkon vždy menší než skutečný příkon světelného zdroje nebo svítidla s předřadným systémem.

Z elektrotechnického pohledu máme ve skutečnosti tři druhy příkonu. Činný příkon, který koná práci, u světelných zdrojů nám vytváří světlo a teplo. Dále pak příkon jalový, který je buď kapacitní nebo induktivní povahy. Je charakteristický vzájemným fázovým posuvem odebíraného

proudu a napětí o +/- 90 °. Jeho vznik může být zapříčiněn spínáním polovodičových prvků, funkcí aktivních nebo pasivních filtrů. A posledním uváděným příkonem je příkon zdánlivý. Ten nemá žádný fyzikální význam, jedná se čistě o součin efektivních hodnot odebíraného proudu světelným zdroje a napájecího napětí. Katalogově často udávanými veličinami jsou činný příkon a účinník, který je bezrozměrnou veličinou. Je poměrem mezi činným a zdánlivým výkonem. Pro čistě činný příkon světelného zdroje je účinník roven jedné. Činný příkon světelného zdroje označujeme různým způsobem, přičemž nejpoužívanější je P , P_n , P_{in} s jednotkou W. Jalový příkon světelného zdroje označujeme Q , Q_{in} a jeho jednotkou jsou VAR. Zdánlivý příkon světelného zdroje se nejčastěji označuje S , S_n , S_{in} a jednotkou jsou VA. A poslední veličinou, která souvisí s výkonem je účinník - $\cos\varphi$ a je to bezrozměrná veličina. Kromě $\cos\varphi$ je v poslední době používanou veličinou také PF (z angl. Power Factor). Jeho použití je odlišné, protože do sebe zahrnuje účinník všech harmonických, které světelný zdroj odebírá z napájecí sítě.

2.2.1.A.a Měření příkonů světelných zdrojů a účinníku

Všechny druhy harmonických průběhů příkonů můžeme měřit jednoduchým způsobem – pomocí wattmetru, ampérmetru a voltmetru. Zdánlivý příkon se získá součinem naměřených hodnot napětí a proudu. Činný příkon odečtením stupnice z wattmetru. Příkon jalový, případně účinník můžeme určit pomocí následujících vztahů (2-9) až (2-11).

$$S^2 = P^2 + Q^2 \quad (2-9)$$

$$P = U \cdot I \cdot \cos \varphi \quad (2-10)$$

$$Q = U \cdot I \cdot \sin \varphi \quad (2-11)$$

Nicméně uvedené rovnice s jistým zjednodušením platí pouze pro teplotní světelné zdroje bez předřadníků. Všechny ostatní zdroje, dnes již většina, nejsou zdroji teplotními a předřadný systém mají ve výbavě. Jsou charakteristické svoji nelineární povahou v obvodu. Výsledkem je neharmonický časový průběh odebíraného proudu nebo je tento průběh složen z velkého množství vyšších harmonických složek. Všechny světelné zdroje s předřadníky jsou dnes vybaveny minimálně pasivní filtrací a zdroje s příkonem nad 20 W jsou vybaveny i aktivním filtrem. Nicméně i tak má odebíraný proud pouze přibližně sinusový průběh. Běžně používané analogové měřicí přístroje jsou zkonstruovány pro měření harmonických průběhů se síťovou frekvencí 50 Hz (případně až do 500 Hz s danou přesností). Zkreslení odebíraných veličin má širokospektrální charakter a může se pohybovat až v řádech MHz. Takže jediným možným řešením pro přesné měření odebíraných veličin (příkonu, proudu) je použití osciloskopu a získání veličin z naměřených časových průběhů. Činný příkon je poté možné získat jako střední hodnotu ze součinu naměřeného proudu a napětí z jedné periody nebo celistvého násobku period. Zdánlivý příkon obdobným způsobem, akorát namísto střední hodnoty ze součinu se vypočítá jako střední hodnota z absolutních hodnot jednotlivých součinů. Při použití běžných digitálních měřičů spotřeby je třeba znát vzorkovací frekvenci takového měřicího systému. Frekvenční složky měřené veličiny musejí být minimálně desetkrát nižší frekvence než vzorkovací frekvence systému. Ty se většinou pohybují v rozsahu jednotek nebo desítek kHz.

2.2.1.A.b Rozsah hodnot dosahovaného elektrického příkonu u světelných zdrojů

Následující *Tabulka 2-11* obsahuje rozsah hodnot dosahovaného elektrického činného příkonu u jednotlivých zástupců světelných zdrojů. V případě světelných diod je nutné rozlišovat, zda-li je příkon katalogově udán pro jeden čip i v případě vícečipového provedení nebo pro všechny čipy dohromady. Také je hodnota příkonu často udávána jako hodnota maximální, jmenovitá, případně

hodnota daná napájecím proudem. Příkon světelné diody je závislý na teplotě přechodu PN, pokud uvažujeme konstantní napájecí proud. Dále pak je často příkon diod udáván jako hodnota čipu, nikoliv celého svítidla vybaveného předřadným systémem. Elektrická účinnost napájecích systémů je závislá na jmenovitém příkonu, zatížení – respektive na poměrném zatížení, kdy nejlépe pracují (s nejvyšší účinností) v rozsahu poměrného zatížení v rozsahu 80 až 100 %. Jejich účinnost je poté v rozsahu 75 až 98 %.

Tab. 2-11 Rozsah hodnot dosahovaného činného příkonu u světelných zdrojů.

Světelný zdroj	Rozsah dosahovaného činného příkonu (W)
Žárovka	3 až 500
Halogenová žárovka	5 až 2 000 (speciální typy až 10 000 W)
Lineární zářivka	4 až 215
Kompaktní zářivka	3 až 150
Rtuťová vysokotlaká výbojka	50 až 3 400
Směsová výbojka	100 až 500
Sodíková nízkotlaká výbojka	18 až 185
Sodíková vysokotlaká výbojka	35 až 1 500
Xenonová výbojka	50 až 12 000
Halogenidová výbojka	35 až 18 000
LED	0,01 až 30 u jednoho čipu, vícečipové až 150

Používaná aktivní filtrace dokáže upravit průběh odebíraného proudu napájecím systémem do takřka sinusového průběhu jen s velmi malým zkreslením. Zároveň se také odstraňuje fázový posuv, snižující hodnotu účinníku. Výsledkem je dosahovaná hodnota účinníku v rozsahu 0,9 až 0,99 pro předřadné systémy vybavené aktivní filtrací. A 0,8 až 0,95 pro systémy bez aktivní filtrace. Hodnoty 0,7 až 0,9 jsou typické pro systémy s indukčním předřadníkem s kapacitní kompenzací jalového výkonu.

2.2.1.B Napájecí napětí

Většina světelných zdrojů respektive jejich předřadných systémů je dnes napájena z jednofázové tvrdé sítě se jmenovitým napětím 230 V (v ČR). Jejich předřadný systém jim následně umožňuje dosáhnout požadovaných hodnot napájecích parametrů. V případě teplotních zdrojů, vybavených předřadníky, je jeho účelem dosáhnout potřebného stabilizovaného napájecího napětí. Toho lze většinou dosáhnout použitím induktivního nebo elektronického transformátoru s výstupní stabilizací napětí. Stabilizace výstupního napětí je u těchto zdrojů nutná, poněvadž při překročení jmenovitého napětí se velmi rychle snižuje životnost zdroje. V případě výbojových zdrojů má předřadný systém dvě úlohy. První je systém zapalovací, který až na výjimky rtuťových vysokotlakých výbojek vytvoří vysokonapěťový impuls, jenž „zapálí“ – dostatečně zionizuje výbojovou dráhu. Druhou funkcí je limitace proudu procházejícího výbojkou, jelikož je její startovací fáze velmi dynamická a i při ustálení parametrů vykazují výbojové zdroje negativní (inverzní) VA charakteristiku. To v praxi znamená, že při zvyšujícím se proudu stoupá počet nosičů náboje ve výbojové dráze, stoupá její vodivost a napětí na výboji klesá. Z tohoto důvodu je nutná stabilizace pracovního bodu. Dříve tohoto bylo dosahováno pomocí ztrátových tlumivek, dnes častěji pomocí elektronických předřadných systémů. A poslední typ světelných zdrojů – zdroje luminiscenční potřebují pro svůj chod napájecí zdroj se stabilizovaným proudem. Takže vždy je pro tento účel používán elektronický předřadník, který zároveň dokáže pracovat s určitým rozsahem výstupního napětí pro různé kombinace sériového zapojení diod. Vyjimky tvoří pouze

světelné diody v podobě LED pásků a jiných nízkopříkonových aplikací, které mají v sérii zapojené rezistory a mohou být napájeny z napěťových zdrojů. Navíc některé nabízené modely umožňují regulaci výstupního napájecího proudu a tím i regulaci výkonu světelné diody. Samotné napětí na světelném zdroji napájeném přes předřadný systém je závislé na typu světelného zdroje, okolních podmínkách – výsledné teplotě PN přechodu a na činnosti předřadníků.

2.2.1.B.a Měření napájecího napětí u světelných zdrojů

Princip měření napětí byl popsán v kapitole „2.2.1.A.a Měření příkonů světelných zdrojů a účinniku“. V případě harmonických průběhů síťové frekvence je možné použít analogové měřicí přístroje. Naopak v případě měření napětí za předřadnými napájecími systémy, například na výbojové dráze výbojového světelného zdroje, je potřeba použít elektronické měřicí systémy s dostatečnou vzorkovací frekvencí, která bude minimálně o řád vyšší, než nevyšší frekvenční složky v měřeném signálu obsažené, i když teoretickým minimem je dvojnásobek vzorkovací frekvence oproti nejvyšší frekvenční složce signálu.

2.2.1.B.b Rozsah hodnot používaného napájecího napětí u světelných zdrojů

Následující *Tabulka 2-12* obsahuje rozsah hodnot používaného napájecího napětí u jednotlivých zástupců světelných zdrojů.

Tab. 2-12 Rozsah hodnot používaného napájecího napětí u světelných zdrojů.

Světelný zdroj	Rozsah napájecího napětí (V)
Žárovka	Používané malé napětí (3, 6, 12, 24, 36) Nízké napětí (120, 220, 230, 235 a 240)
Halogenová žárovka	Používané malé napětí (6, 12, 15, 24, 36) Nízké napětí (120, 230 a 240)
Lineární zářivka	230 a 240
Kompaktní zářivka	80 (120) až 230 nebo 240
Rtuťová vysokotlaká výbojka	V závislosti na předřadném systému 110 až 240
Směsová výbojka	225 až 245
Sodíková nízkotlaká výbojka	V závislosti na předřadném systému 110 až 240
Sodíková vysokotlaká výbojka	V závislosti na předřadném systému 110 až 240
Xenonová výbojka	V závislosti na předřadném systému 110 až 240
Halogenidová výbojka	100, 115, 230 a 400
LED	Napětí čipu: W, G, B 3 až 4 V; R 2 až 3 V

Většina dnes prodávaných světelných zdrojů, určených pro síťové napětí, má uvedenou katalogovou hodnotu napájecího napětí v rozsahu 220 až 240 V. Světelné zdroje s elektronickými předřadnými systémy mají tento rozsah vyšší a umožňují svoji činnost zpravidla v rozsahu 100 až 260 V. Horní hranice je dána maximálním provozním napětím elektrolytických kondenzátorů v napájecím obvodu systémů a dolní hranice maximálně odebíraným proudem, poněvadž v rámci zachování výstupního výkonu je při sníženém napětí odebírána vyšší hodnota proudu.

Světelné diody nejsou katalogově definovány napájecím napětím ale proudem. U jejich předřadných systémů je uváděnou hodnotou síťové napájecí napětí včetně tolerance. U samotných diod je z pohledu napětí uváděn pouze tzv. úbytek napětí, jenž je závislý na procházejícím proudu, teplotě PN přechodu a materiálu provedení čipu LED, resp. barvě jejího světla. Nejvyšší úbytek, přes 4 V mají diody UV, v rozsahu 3 až 4 V se nacházejí diody modré (bílé s luminoforem) a některé zelené. Nejmenší úbytek napětí okolo 1,7 V mají diody červené.

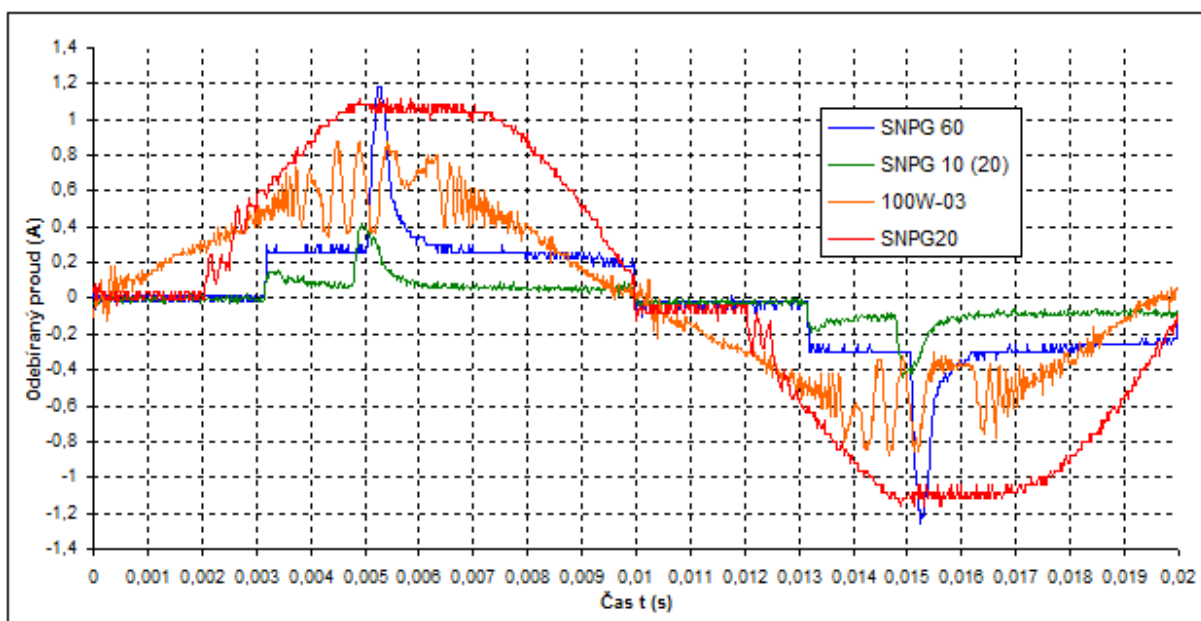
2.2.1.C Velikost a druh odebíraného proudu

Velikost proudu je hlavním katalogově uváděným parametrem pouze u světelných diod. U ostatních světelných zdrojů jsou všechny elektrické parametry závislé na napájecím napětím a proud je tedy veličinou proměnnou. Například zdroje výbojové mají velikost proudu, procházejícího výbojovým hořákem, závislou na počtu nosičů náboje v daném prostoru. U zdrojů tepelných je velikost proudu omezena elektrickým odporem vlákna, který se s teplotou zvyšuje.

Světelná dioda, jakožto polovodičová součástka, vyžaduje pouze stejnosměrné napájení. V závěrném směru, v případě jejího napájení střídavým proudem, je její průrazné napětí v řádu jednotek voltů, a proto v případě možného výskytu střídavého proudu musí být chráněna například zpětnou diodou apod. V některých aplikacích je při střídavém napájení také často realizováno antiparalelní zapojení dvou světelných diod. Zdroje tepelné mohou být napájeny střídavým nebo stejnosměrným proudem. A u zdrojů výbojových je využíváno dynamické VACH, která se liší od statické, proto je jejich provoz na stejnosměrný proud buď nemožný nebo s omezeným příkonem a s vysokými tepelnými ztrátami předřadných systémů.

2.2.1.C.a Měření odebíraného proudu u světelných zdrojů

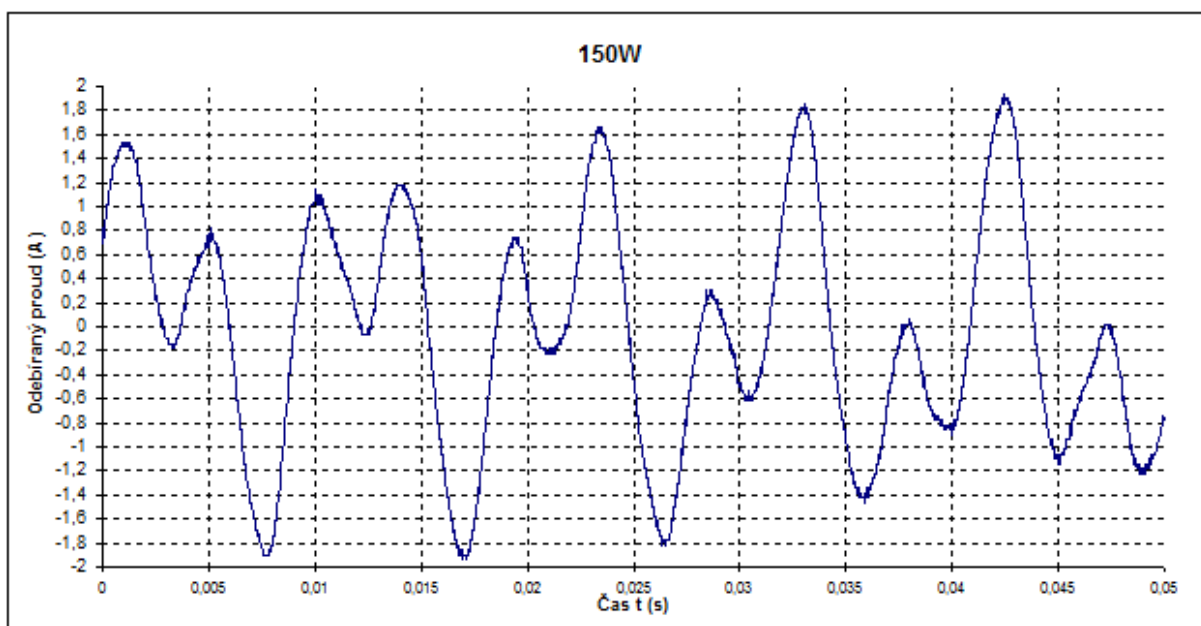
Princip a problematika měření odebíraného proudu světelnými zdroji byl částečně popsán v kapitole „2.2.1.A.a Měření příkonů světelných zdrojů a účinníku“. Zjednodušené měření odebíraného proudu pomocí analogových nebo digitálních ampérmetrů má smysl pouze u světelných diod, kde v závislosti na kvalitách napájecího zdroje a jeho stabilizaci má odebíraný proud stejnosměrný v čase neměnný charakter. U teplotních světelných zdrojů je nejčastěji využíváno napájení ze sítě nebo přes napájecí transformátor. Vzhledem k takřka činnému odběru světelných zdrojů je odebíraný proud ve fázi s napětím a i jeho průběh v časové oblasti tomu odpovídá. Je tedy závislý na kvalitách (stabilitě a míře přítomnosti nejrůznějších rušení) napájecího síťového napětí. U zdrojů výbojových je odebíraný proud ve fázi ustáleného chodu periodický, nicméně neharmonického průběhu. Pro jeho přesné měření jsou tedy nutné elektronické měřiče s vysokou vzorkovací frekvencí nebo měření jeho časového průběhu pomocí osciloskopů.



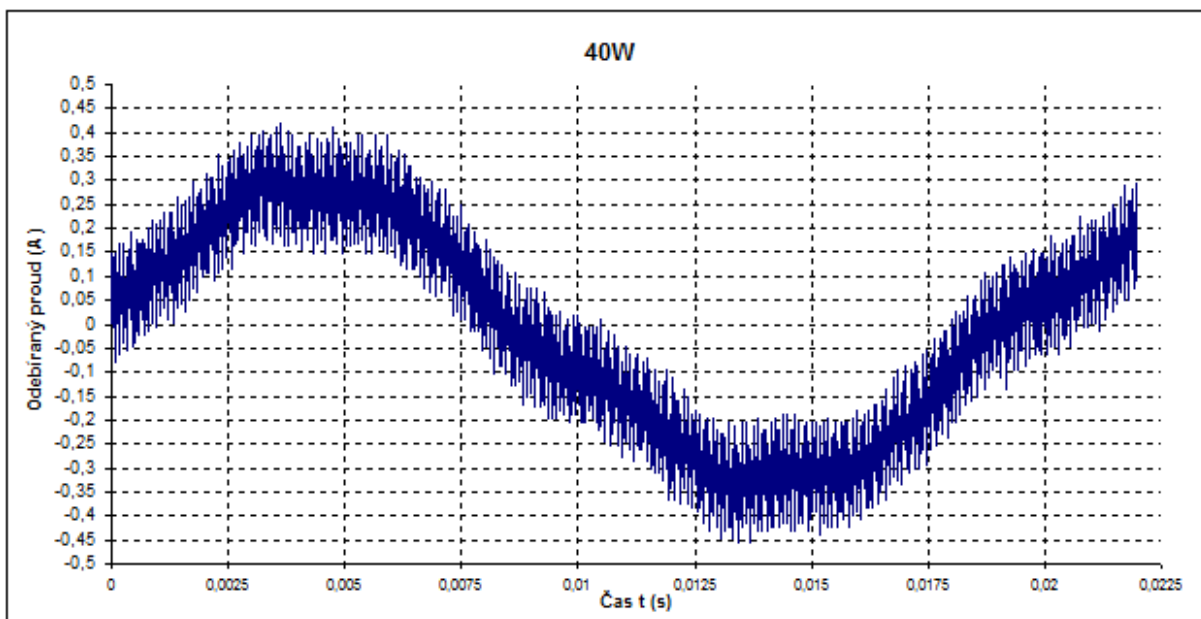
Obr. 2-14 Časový průběh odebíraného proudu u indukčních zářivek [19].

Na *Obrázku 2-14* je znázorněn časový průběh jedné periody odebíraného proudu u indukčních zářivek vybavených předřadným elektronickým systémem. Jednotlivé zářivky se mezi sebou liší příkonem a také filtrací. U průběhu proudu zářivky „SNPG 10“ je patrné, že je předřadný systém vybaven pouze pasivní filtrací a v důsledku nedostatečné kompenzace dochází k fázovému posuvu odebíraného proudu. Kdežto u průběhu proudu zářivky „SNPG 20“ je využito aktivního filtru a odebíraný proud je pouze s malým fázovým posuvem a takřka sinusovým průběhem.

Charakter odebíraného proudu světelnými zdroji bývá deformován jinými frekvenčními složkami. Zpravidla se jedná o liché násobky harmonických. Výsledný průběh závisí na parametrech vstupního filtru, který se především stará o filtraci harmonických složek proudu do zhruba 30. harmonické. Průběh deformace odebíraného proudu světelným zdrojem bez vstupního filtru je znázorněn na následujícím *Obrázku 2-15*.



Obr. 2-15 Odebíraný proud 150 W ind. zářivkou v plošném provedení bez vstupního filtru.



Obr. 2-16 Odebíraný proud 40 W indukční zářivkou v plošném provedení bez VF tlumivky.

Pomocí Fourierovy analýzy signálu v časové oblasti můžeme převést signál do oblasti frekvenční a graficky znázornit míru zastoupení jednotlivých frekvenčních složek. Signál odebíraného proudu na *Obrázku 2-15* je podle této analýzy deformován především 3. a 5. harmonickou složkou. Je-li z filtrace odstraněna vysokofrekvenční tlumivka a je špatně dimenzován elektrolytický kondenzátor, dochází k modulaci odebíraného proudu spínací frekvencí zdroje, která se pohybuje okolo 250 kHz. Výsledný signál odebíraného proudu indukční zářivkou v plošném provedení je graficky znázorněn na *Obrázku 2-16*.

2.2.1.C.b Rozsah hodnot odebíraného proudu u světelných zdrojů

Následující *Tabulka 2-13* obsahuje rozsah hodnot odebíraného proudu u jednotlivých zástupců světelných zdrojů.

Tab. 2-13 Rozsah hodnot odebíraného proudu u světelných zdrojů.

Světelný zdroj	Rozsah odebíraného proudu
Žárovka	AC/DC 20 mA až 2,5 A
Halogenová žárovka	AC/DC 20 mA až 50 A
Lineární zářivka	AC 20 mA až 1 A
Kompaktní zářivka	AC 20 mA až 650 mA
Rtuťová vysokotlaká výbojka	AC 200 mA až 15 A
Směsová výbojka	AC 500 mA až 2 A
Sodíková nízkotlaká výbojka	AC 100 mA až 1 A
Sodíková vysokotlaká výbojka	AC 100 mA až 8 A
Xenonová výbojka	AC 200 mA až 50 A / 28 A při 3f provozu
Halogenidová výbojka	AC 200 mA až 80 A / 42 A při 3f provozu
LED	DC jednotky mA až 350 mA; 700 mA; 1 050 mA; 3 A; 10 A

2.2.1.D Charakteristické elektrické parametry u výbojových zdrojů

Výbojové zdroje všeobecně mají na rozdíl od jiných světelných zdrojů své specifické elektrické parametry. Často udávaným parametrem je napětí na výboji, které již nepatří do skupiny statických parametrů, ale parametrů dynamických, protože se během startu výbojky i jejího ustáleného provozu velmi rychle (někdy až o několik řádů) mění, jeho označení je U_A . Pokud budeme napětí na výboji posuzovat pouze jako statickou hodnotu v jednotlivých fázích startu i ustáleného chodu výbojového zdroje, je nejdůležitějším parametrem tzv. „zápalné napětí“, označené U_Z . To má v závislosti na provedení hořáku výbojky, jeho délky, vnitřního tlaku a typu plynné náplně různé hodnoty. Jeho typické hodnoty jsou od stovek V po jednotky nebo desítky kV. Toto napětí pro prvotní ionizaci je nutné vytvořit pomocí tzv. zapalovače, jenž může pracovat na indukčním principu, zápalné elektrodě v případě rtuťové výbojky nebo pomocí elektronického VN transformátoru. Ve fázi zápalného napětí se ve výbojové dráze nachází jen velmi malé množství nosičů, takže vodivost výbojové dráhy je velmi nízká. Procházející proud v této fázi je maximálně v řádu jednotek μA . Nicméně po počáteční ionizaci výbojové dráhy dochází k lavinovitému vzrůstu počtů nosičů a také ke zvýšení velikosti procházejícího proudu do řádu jednotek mA. V této fázi se již výboj nazývá doutnavým. Napětí na hořáku dosahuje hodnoty okolo 100 V. U nízkotlakých výbojových zdrojů v této fázi končí vzrůst proudu, protože je omezen předřadným systémem. U vysokotlakých zdrojů pokračuje vzrůst proudu dále s přechodem na výboj obloukový, u kterého napětí ještě více klesá na hodnoty v řádu desítek V, hustota nosičů stále stoupá a proud procházející hořákem také stoupá až do desítek A [20].

Při napájení výbojky střídavým proudem se tato fáze v každé půlperiodě opakuje s tím rozdílem, že díky setrvačnosti dostatečného množství nosičů a nažhaveným elektrony emitujícím elektrodám dochází ke snadnějšímu a rychlejšímu průběhu fáze „zápalného napětí“, kde již není potřeba externí zdroj impulsů, jenž by způsobil prvotní ionizaci výbojové dráhy.

U vysokotlakých výbojových zdrojů je také často uváděným katalogovým údajem tzv. „znovuzápal“ nebo také čas potřebný pro vytvoření znovuzápalu. Pokud je vysokotlaká výbojka v provozu, dochází ke změnám tlaku a teplot ve výbojové dráze a celém hořáku. Elektrody jsou nažhavené, kolem nich se nachází elektronový oblak a také zde působí sekundární emise. Při případném vypnutí zdroje dochází sice k rychlému poklesu vnitřního tlaku a teplot, nicméně díky právě tepelné emisi elektrod a zvýšenému tlaku plynné náplně není možné provést start pomocí zápalného napětí, poněvadž vodivost výbojové dráhy je příliš vysoká a zapalovač vytvořeným impulsem nedokáže vytvořit dostatečné napětí pro znovuzápal. Je tedy nutné čekat do doby, kdy teplota hořáku poklesne na potřebnou hodnotu a znovuzápal přiloženým impulsem je možné znovu provést. Tím je definována katalogová hodnota „doba do znovuzápalu“. U některých speciálních typů dvojtrubicových halogenidových a vysokotlakých sodíkových výbojek je možné provést zápal jednoduše provedením startu druhé trubice. Pro výkonové halogenidové výbojky se také často pro urychlení znovuzápalu používá pro tento účel vytvořený VN zdroj, pomocí něhož lze vytvořit dostatečně napětově tvrdý vysokonapěťový impuls, který provede takřka okamžitý znovuzápal.

U zářivek je vlivem nízkých vnitřních teplot během provozu a dostatečně vysokým napěťovým špičkám zapalovače možné provést znovuzápal okamžitě po jejich vypnutí. Problém v tomto ohledu mají akorát kompaktní zářivky staršího provedení, kde výrobce doporučuje pauzu pro znovuzápal cca 30 s.

2.2.2 Předřadné systémy

Předřadné systémy, jinak také běžně předřadníky, jsou určeny pro úpravu elektrických parametrů - většinou síťového napětí, pro potřeby konkrétního světelného zdroje. Světelné zdroje teplotní lze přímo připojovat na síť případně napětí snižovat pomocí elektromagnetických nebo elektronických transformátorů na potřebnou úroveň. Světelné diody potřebují napájet stejnosměrným proudem se stabilizací proudu a zdroje výbojové potřebují předřadný systém s kladnou VACH pro vytvoření požadovaného provozního pracovního bodu, jelikož samotné výbojky mají VACH negativní (inverzní).

Z pohledu historického vývoje, požadavků na osvětlování a také z pohledu používání nových moderních typů světelných zdrojů lze rozdělit předřadné systémy na dvě velké skupiny - předřadné systémy elektromagnetické a elektronické.

2.2.2.A Elektromagnetické (indukční) předřadné systémy

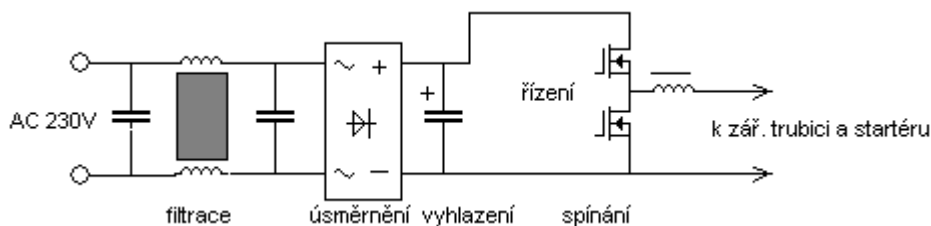
Historicky starším vývojovým typem předřadných systémů jsou systémy pracující na elektromagnetickém principu, někdy také uváděném indukčním principu. V podstatě se jedná o snižující transformátory určené pro napájení nízkonapěťových žárovek, ale především do této skupiny patří indukční předřadníky limitující napájecí proud a stabilizující pracovní bod pro výbojové světelné zdroje. Principiálně je možné pro stabilizaci výboje využít i předřadník vyrobený z rezistorů, nicméně na rozdíl od indukčních předřadníků – tlumivek by se veškeré výkonové ztráty přeměnily v Joulovo odpadní teplo. Tlumivky také mají činné ztráty, nicméně proud je omezen převážně reaktancí tlumivky, takže vzniklé ztráty jsou jalové povahy a lze je

vykompenzovat vhodně zvoleným kompenzačním kondenzátorem. Používání tlumivek v zářivkových obvodech má ještě jednu výhodu – není nutné používat složitý zapalovací systém pro vytvoření zápalného impulsu pro prvotní ionizaci výbojové dráhy. Využívá se rychlé změny protékajícího proudu tlumivkou, kdy pomocí startéru je obvod přerušen a na kontaktech tlumivky vzniká indukované napětí v protifázi k napětí síťovému, ke kterému se přičte. A to je přivedeno na kontakty zářivkové trubice. Dnes se tento typ předřadných systémů používá pro zářivkové trubice v provedení T8, dále pak pro starší typy rtuťových vysokotlakých výbojek.

Dle funkce je možné rozdělit tyto systémy do tří podskupin. První skupinou jsou předřadníky s přídatným žhavením elektrod zářivkových trubice. Je to dnes nejrozšířenější provedení, kdy po zapálení trubice již žhavicími elektrodami neprotéká proud. Druhou skupinou je dnes již málo zastoupený předřadník s rychlým startem, kdy je využíván napájecí obvod bez startéru a k zapálení zářivky dochází externě až po nažhavení elektrod pomocí tzv. nažhavovacího transformátoru. Elektrody jsou následně žhaveny sníženým přítokem energie i při svitu zářivky. Posledním typem indukčního předřadníku pro zářivkové trubice je předřadník s okamžitým startem. V tomto případě elektrody zářivky nejsou žhaveny vůbec a k zápalu dochází pomocí externě vytvořeného vysokonapětového impulsu, který v zářivkové trubici vytvoří dostatečné podmínky pro následující stabilní hoření výboje.

2.2.2.B Elektronické předřadné systémy

Do této skupiny patří nejrůznější elektronika, která upravuje síťové napájecí parametry na proud, napětí případně frekvenci požadovanou světelným zdrojem. Takže sem patří elektronické transformátory pro napájení například halogenových žárovek, dále pak všechny možné předřadné elektronické systémy pro napájení zdrojů výbojových a luminiscenčních včetně jejich příslušenství. Také je možné do této skupiny zařadit nejrůznější stmívače, digitálně řízené spínače a softstartéry. Na *Obrázku 2-17* je znázorněno funkční schéma elektronického měniče pro kompaktní zářivky.

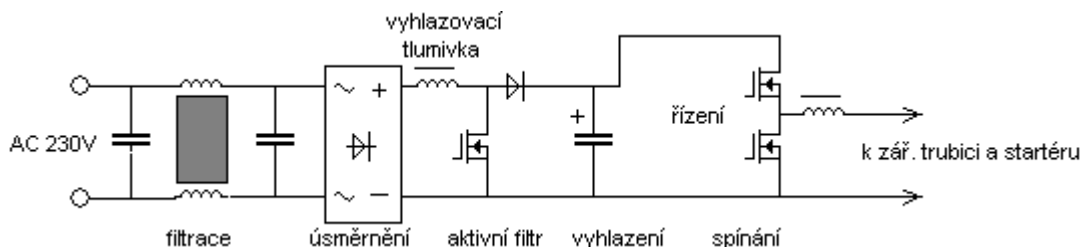


Obr. 2-17 Funkční schéma elektronického měniče pro kompaktní zářivky [5].

2.2.2.B.a Filtrace

Prvním funkčním blokem všech elektronických předřadných systémů je filtrace. Pro nízké jmenovité příkony světelných zdrojů (do 25 W) není nutné použití tzv. aktivní filtry, které pomocí regulace velikosti nabíjecího proudu vstupního kondenzátoru mají vytvořit takový časový průběh vstupního proudu, jenž je ve fázi se síťovým napětím a není vyššími harmonickými zkreslen. Tento aktivní systém se nazývá PFC. Vždy je součástí aktivních filtrů i jejich pasivní část ihned za napájecím vstupem. Skládá se z filtračních kondenzátorů a tlumivky. Na jádře malé feritové tlumivky jsou navinuty dvě vinutí v protifázi. Napájecí proud procházející do dalších obvodů předřadníku prochází jedním vinutím a proud vycházející druhým vinutím. Co do velikosti a časového průběhu jsou tyto proudy stejné. Magnetický tok vzniklý v jádře se působením těchto proudů vyruší. Vzniklé rušení vnitřních spínacích obvodů předřadníků odebírá ze sítě proud, který je odlišný na obou napájecích vstupech. Tento rozdíl vyvolá magnetický tok

v jádře tlumivky, který se přemění na tepelné ztráty a již dále nezatěžuje napájecí síť. Příklad zjednodušeného schématu předřadného systému pro kompaktní zářivky s aktivní filtrací je uveden na *Obrázku 2-18*. Vhodným spínáním tranzistoru v aktivní části předřadného systému lze měnit nabíjecí proud vyhlazovacího kondenzátoru takovým způsobem, že odebíraný proud ze sítě je takřka sinusového průběhu a nazývá se jako průběh kvazisinusový. Nevýhodou je, že každé další použité obvody v předřadném systému zvyšují vlastní spotřebu, tím přispívají k nižší účinnosti světelného zdroje s předřadným systémem jako celku.

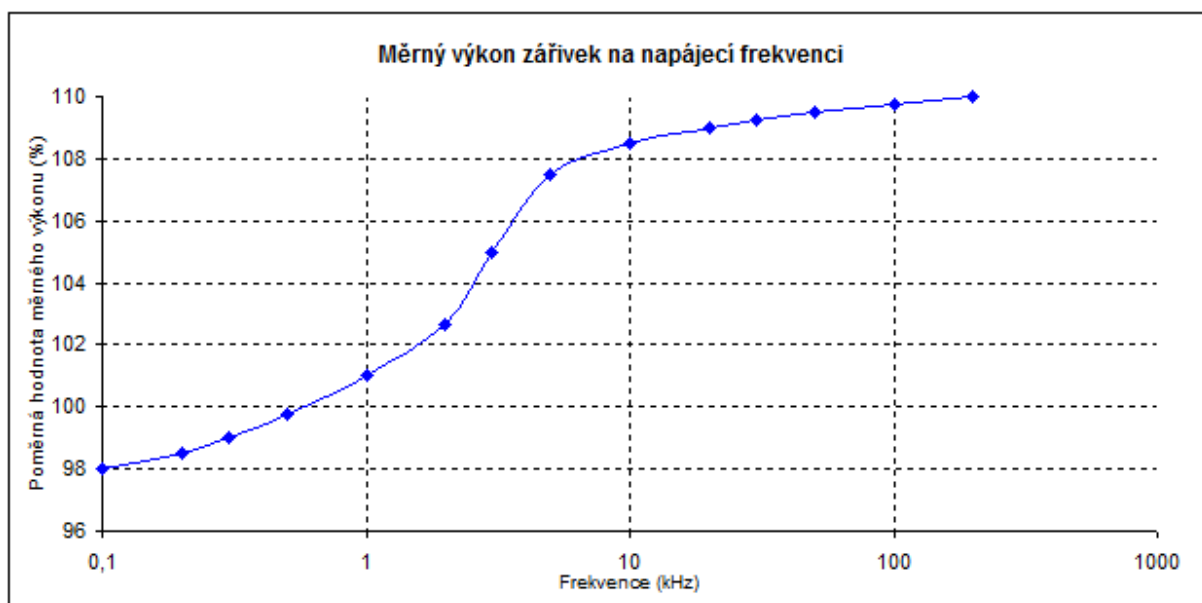


Obr. 2-18 Předřadný systém s aktivní filtrací [5].

2.2.2.B.b Usměrňovač

Takřka bez výjimek je využíván dvojpulzní usměrňovač v Gratzově zapojení. Diody je nutné dimenzovat na závěrné napětí U_b 1 000 V. Je také nutné použít diody s krátkou dobou zotavení T_{rr} , protože je možný častý výskyt vysokofrekvenčního rušení. Řešením je také každou z diod opatřit paralelním fóliovým kondenzátorem pro svedení tohoto rušení. Na výstupu usměrňovače je standardně připojen elektrolytický kondenzátor, jehož úkolem je vyhlazení stejnosměrného napětí a tím zabránění poklesů výkonu a vzniku charakteristického fukru o dvojnásobku síťové frekvence. Tímto prvkem obvodu prochází velký vyrovnávací proud a také ho ohřívají vysokofrekvenční proudy vzniklé spínáním. Právě přehřívání a tím snižování životnosti tohoto prvku jsou nejčastější příčinou poruch elektronických předřadných systémů.

2.2.2.B.c Střídač



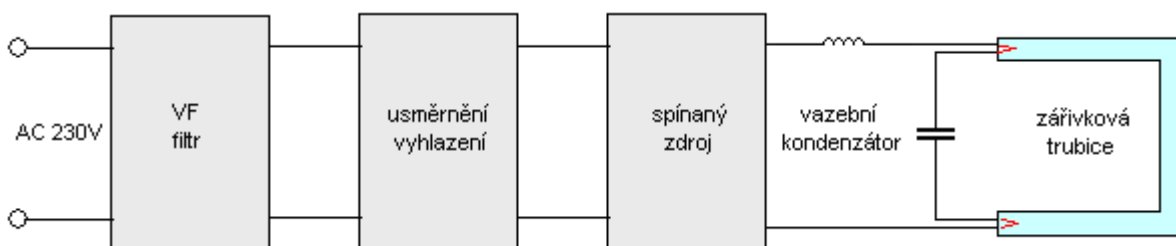
Obr. 2-19 Závislost měř. výkonu u zářivkových trubíc na napájecí frekvenci [21].

Podle způsobu provozu jsou v elektronických předřadných systémech používány různé druhy střídačů. Ale nejčastěji se jedná o jednočinné, pro vyšší výkony dvojitinné tranzistorové

můstky v blokujícím zapojení. Pro nízké ztráty je používáno tranzistorů technologie MOSFET nebo IGBT. Spínací frekvence je při menších výkonech odvozená, při výkonech vyšších je řízena řídicím systémem a pohybuje se v rozsahu nad akusticky slyšitelnou frekvencí cca 25 kHz až cca 100 kHz. Při vyšší frekvenci spínání již dochází ke zvýšeným ztrátám na spínacích prvcích.

Účinnost přeměny elektrické energie na záření výboje/oblouku ve výbojových zdrojích a tím i míra dosaženého měrného výkonu je do jisté míry na frekvenci spínání závislá. Optimum se u zářivkových světelných zdrojů nachází mezi 30 až 60 kHz. Tato závislost je uvedena pro zářivkové trubice na *Obrázku 2-19*.

Systém žhavení a zapalování výbojových trubice pomocí elektronických předřadných systémů probíhá následujícím způsobem. Výstup střídače je připojen na elektrody zářivky, viz. náčrt na následujícím *Obrázku 2-20*. Mezi opačné konce žhavení je připojen kondenzátor. Při startu dochází ke zvýšení spínací frekvence řídicím systémem a tím pádem dochází ke zvýšení proudu, jenž prochází přes tento kondenzátor. Proud prochází také přes žhavicí vinutí. Po nažhavení dochází k rychlému poklesu spínací frekvence a na sériové tlumivce dochází k vytvoření přepětového impulsu, který již nažhavenou zářivku „zapálí“. Poté je frekvence spínání uvedena do normálního provozního stavu.



Obr. 2-20 Systém elektronického žhavení a zapalování zářivkových trubice [5].

U elektronických předřadných systémů pro zapalování vysokotlakých výbojek je využíváno malých feritových transformátorů, pomocí kterých je vytvořen vysokonapětový impuls (jednotky kV) pro zapálení hořáku výbojky. Rychlá změna pro vytvoření impulsu je tvořena buď rychlými tranzistory v můstkovém zapojení nebo ve starším provedení pomocí triaků nebo tyristorů.

2.2.3 Energetické ztráty předřadných systémů a energetický štítek

Energetické ztráty předřadných systémů se v závislosti na příkonu, provedení a typu světelného zdroje pohybují mezi 5 a 30 % jmenovitého příkonu. Používá se označení ΔP_P a jednotkou jsou W. Katalogově uváděnou veličinou je tzv. „činitel energetické účinnosti“, zkratka EEI z anglického názvu „Energy Efficient Index“. Označení a dělení je uvedeno v následující *Tabulce 2-14*.

Tab. 2-14 Energetická účinnost předřadných systémů [6].

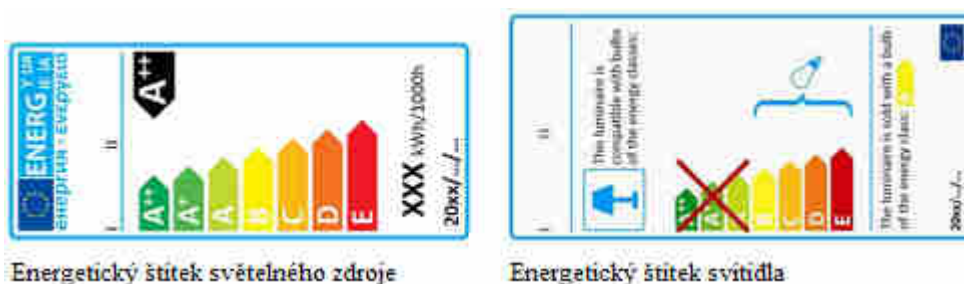
Kategorie	Popis
A1, A++	Předřadný systém umožňuje regulace a nejvíce energeticky úsporný
A2, A+	Předřadný systém s velmi vysokou účinností
A3, A	Předřadný systém s vysokou účinností
B1	Předřadný systém se střední účinností
B2	Předřadný systém s nízkou účinností
C	Prodej této kategorie v EU již zakázán.
D	Běžné předřadné systémy s nejvyššími ztrátami. Prodej této kategorie v EU již zakázán.

V dnešní době (konec roku 2013) je stále v platnosti nařízení EU č. 874/2012, které uvádí, že energetické štítky nejsou povinné jen pro tzv. nesměrové zdroje světla, ale i pro zdroje směrové (reflektorové) a všechna svítidla světelnými zdroji vybavená. Podobně jako u všech ostatních elektrických spotřebičů je nově nejúspornější třída A dále rozšířena o kategorie A+ a A++. Na energetický štítek u světelných zdrojů musí být kromě energetické třídy uvedena informace o výrobci zdroje, konkrétním modelu a také spotřebě pro 1 000 hodin provozu. Dělení do energetických tříd je rozdílné podle směrovosti světelného zdroje. Konkrétní kategorizace energetických štítků u světelných zdrojů je uvedena v následující *Tabulce 2-15* [22].

Tab. 2-15 Energetické třídy světelných zdrojů [22].

Energ. třída	Nesměrové světelné zdroje	Směrové světelné zdroje
A++	Nejúčinnější LED, zatím v laboratorních podmínkách.	Nejúčinnější LED, zatím v laboratorních podmínkách.
A+	Nejlepší LED a nejlepší komp. zář.	Nejlepší LED.
A	Průměrné LED, střední komp. zář, nejúčinnější matné světelné zdroje.	Průměrné LED, střední a lepší kompaktní zářivky.
B	Nejméně účinné kompaktní zářivky, většinou v designovém provedení.	Špatné kompaktní zářivky i LED, nejlepší halogenové žárovky NN.
C	Halogenové žárovky na síťové napětí, vysokopříkonové žárovky.	Průměrné nízkonapět'ové halogenové žárovky .
D	Běžné halogenové žárovky, nejlepší klasické žárovky.	Špatné nízkonapět'ové halogenové žárovky.
E	Klasické žárovky.	Klasické reflektorové žárovky, špatné halogenové žárovky na síťové napětí.

U svítidel je na energetické štítku uvedeno, se kterým typem světelného zdroje dosáhnou určité energetické třídy. Také jaká je energetická třída svítidla s konkrétním světelným zdrojem při prodeji. Na štítku je uvedena informace, zda je možné světelný zdroj v budoucnu vyměnit za jiný, energeticky úspornější. Příklad energetického štítku pro světelné zdroje a svítidla vybavená světelnými zdroji je uveden na *Obrázku 2-21*.



Energetický štítek světelného zdroje

Energetický štítek svítidla

Obr. 2-21 Příklad energetického štítku pro světelné zdroje a svítidla [22].

2.3 Statické parametry světelných zdrojů – ostatní

Kromě parametrů zařaditelných do skupin elektrických a světelně-technických jsou často u světelných zdrojů uváděny i parametry ostatní, například související s životem světelných zdrojů, jednotlivými konstrukčními rozměry, případně parametry statisticky vyjádřitelné zahrnující oblast světelných i elektrických parametrů. Zvláštní skupinou možných uváděných parametrů, jež přímo nesouvisí s běžným osvětlováním a fotometrií, je využití standardních, ale i speciálních světelných zdrojů pro osvětlování rostlin.

2.3.1 Život světelných zdrojů

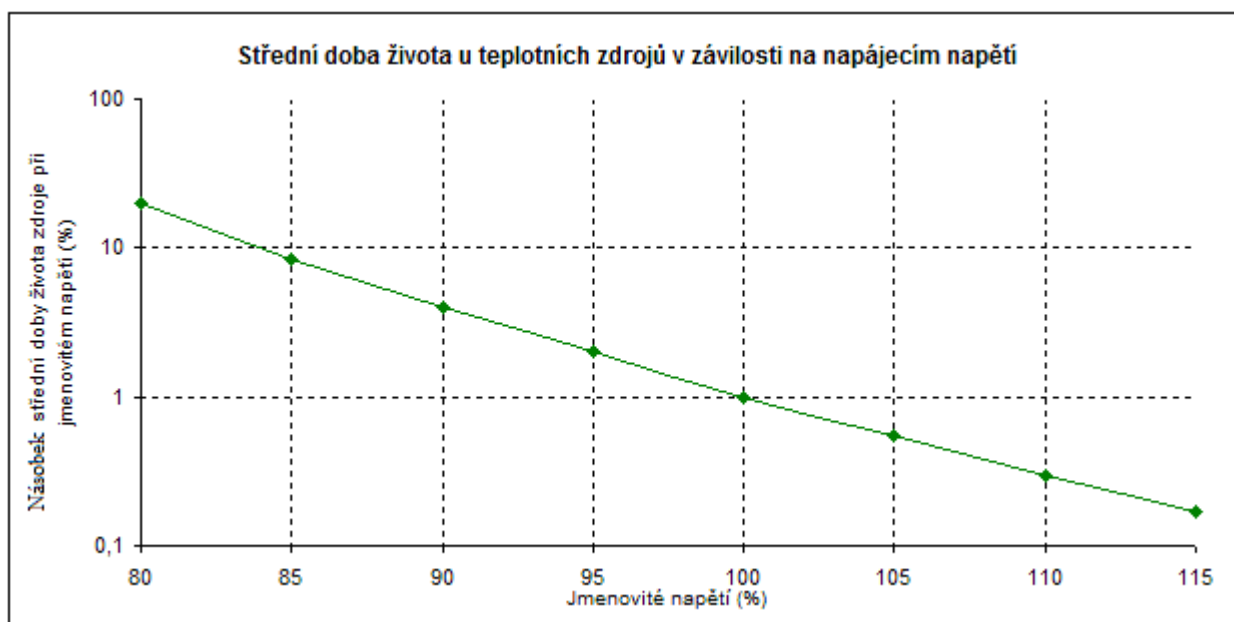
Ined vedle uváděných parametrů, souvisejících s účinností přeměny elektrické energie na světlo a pořizovacími náklady, nejvíce ovlivňuje ekonomiku provozu světelného zdroje jeho životnost. Ta souvisí s četností servisních zásahů potřebných pro výměnu a údržbu světelných zdrojů. Také samozřejmě s opětovnými náklady pro pořízení zdroje nového. Pro určení doby životnosti světelného zdroje (správně je třeba užívat pojem „život světelného zdroje“) je zavedeno několik základních pojmů, jež jsou různým způsobem uvedeny jako katalogové údaje. Jejich výčet a definice je uveden v následující *Tabulce 2-16*.

Tab. 2-16 Pojmy související s životem světelných zdrojů [6].

Pojem	Definice
Život světelného zdroje	Je doba svícení zdroje, až do okamžiku, kdy není schopen tento účel vykonávat. To znamená, že přestane fungovat úplně nebo již nejsou dodrženy jeho provozní tolerance, např. světelný tok poklesne pod stanovenou úroveň nebo je snížena spolehlivost.
Užitečný život	Je doba, kdy se provozní parametry zdroje drží ve stanovených tolerančních mezích.
Fyzický život	Doba do úplné ztráty provozuschopnosti světelného zdroje.
Průměrný život	Časový úsek, během něhož provozuschopnost vybraného vzorku světelných zdrojů klesne pod 50 %.
Činitel stárnutí	Je definován jako poměr světelného toku v daném okamžiku a toku počátečního. (bezrozměrná veličina nebo v procentech)
Počáteční tok (ozn. Φ_p)	Světelný tok naměřený po 1 hodině činnosti teplotních světelných zdrojů nebo 100 hodinách u zdrojů výbojových při stanovených podmínkách. Po této době je zdroj považován za tzv. „zahořený“.

2.3.1.A Vliv provozních parametrů na život světelných zdrojů

Teplotní světelné zdroje dosahují ze všech jednotlivých zástupců světelných zdrojů nejnižšího hodnoty doby života. Již z pohledu jejich principu činnosti dochází k odparu rozžhaveného vlákna, které se postupně ztenčuje až do okamžiku jeho přepálení.

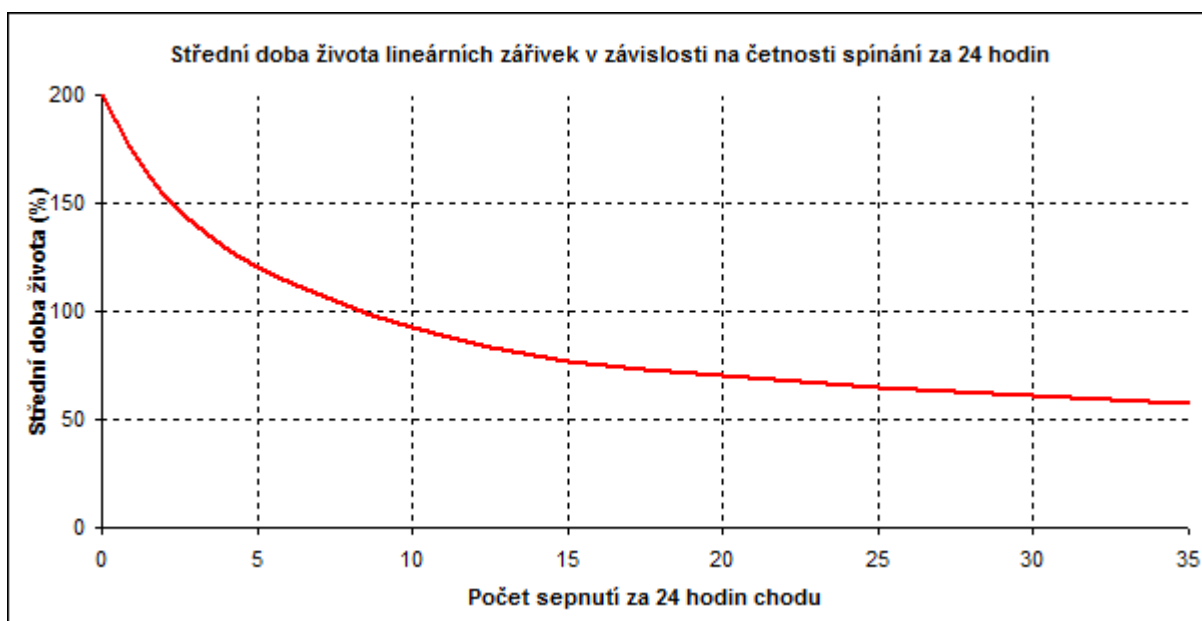


Obr. 2-22 Střední doba života teplotních zdrojů v závislosti na napájecím napětí [23].

Odpařený materiál se navíc napařuje na chladnějších místech, především na baňce, a tím zabraňuje průchodu vytvořeného světelného toku. U teplotních zdrojů je tedy charakteristické snižování produkovaného světelného toku při jejich stárnutí. Odpar materiálu vlákna je vysoce závislý na jeho teplotě. Při nízkých teplotách vlákna se značně prodlužuje životnost zdroje, nicméně za cenu snížení měrného výkonu. Naopak při vyšších teplotách měrný výkon stoupá, ale průměrný život zdroje významně klesá. Dnešní „optimum“ je stanoveno při teplotě okolo 2 850 K, kdy je ještě zachována efektivnost činnosti s průměrnou dobou života běžných žárovek okolo 1 000 h. Závislost života žárovkového zdroje na jeho napájecím napětím je znázorněna na *Obrázku 2-22*.

Jistého pokroku se u teplotních zdrojů dosáhlo přidáním halogenů do vnitřního prostoru baňky. Tím vznikl nový typ zdroje – halogenová žárovka. Díky halogenovému cyklu dochází k částečnému návratu odpařeného materiálu vlákna zpět na vlákno. Navíc zvýšená koncentrace par odpařeného materiálu kolem vlákna zabraňuje dalšímu odparu. Výsledkem je vyšší dosažená hodnota života zdroje, jenž se pohybuje mezi 3 000 a 5 000 hodin. Díky sníženému odparu je možné dosáhnout o trochu vyšších teplota vlákna, většinou okolo 3 000 K. Tím je dosaženo i vyššího měrného výkonu, než u běžných žárovek.

Zdroje výbojové mají více funkčních částí, než zdroje teplotní, proto je počet možných vlivů na jejich dobu života vyšší. U zdrojů zářivkových jsou nejslabším článkem žhavicí elektrody. Při každém startu zářivky dochází k jejich zahřátí a emitování elektronů z emisního materiálu na jejich povrchu. Vysoká teplota způsobuje jejich odpar a křehnutí. Navíc také dochází k jejich dynamickému vytahování směrem do středu trubice. Při použití elektronických předřadných systémů je start zářivek šetrnější, nicméně ihned na druhém místě je nejslabší článek právě onen elektronický předřadník. Nejčastěji dochází ke zničení elektrolytických kondenzátorů. Na dalším místě je luminofor, jehož účinnost se stářím světelného zdroje klesá. Takže v důsledku je život zářivek ovlivněn počtem sepnutí. Vliv napájecího napětí střední dobu života tohoto typu světelného zdroje ovlivňuje pouze minimálně. Zvýšené napětí má větší vliv na život předřadných systémů, než na život samotných zářivkových trubec. Závislost poklesu středního života zářivek na četnosti jejich spínání je znázorněna na následujícím *Obrázku 2-23*.

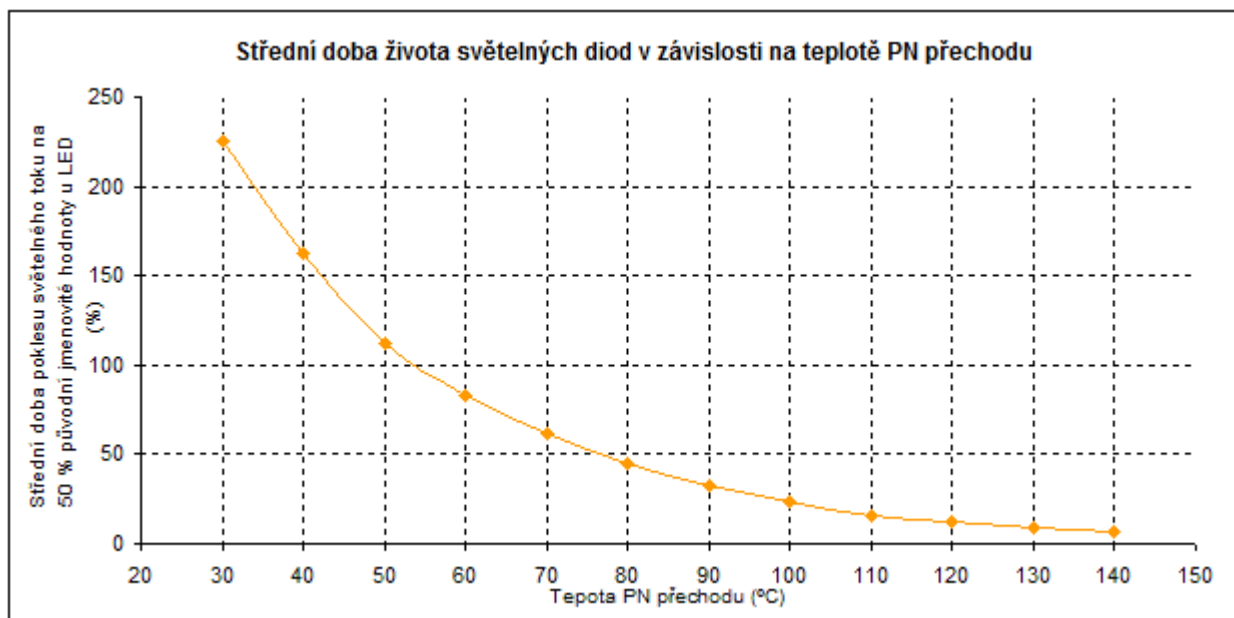


Obr. 2-23 Závislost střední doby života zářivky na četnosti spínání [24].

Postupem času se vyvinul dnes stále používanější druh zářivky, u kterého nejsou problémy se žhavením, jelikož žhavicí elektrody nejsou přítomny vůbec. Trubice je realizována jako uzavřená trubice a energie se do ní dostává pomocí budících cívek indukčním způsobem. Toto provedení se nazývá indukční zářivka nebo také bezelektrodová zářivka. Se stářím zdroje dochází akorát k malému poklesu produkovaného světelného toku vlivem degradace luminoforu. Život samotné trubice je takřka neomezen a život světelného zdroje jako celku je limitován dobou života předřadného systému, která je většinou 60 000 až 100 000 hodin.

Průměrná doba života u výbojových zdrojů vysokotlakých je ovlivněna jak četností spínání, tak podmínkami jejich provozu. Provoz těchto zdrojů je charakteristický vysokými teplotami a tlaky vnitřního prostoru hořáku při jejich provozu. Materiál hořáku toto dynamické namáhání z dlouhodobého pohledu nesnese a často dochází k porušení jeho těsnosti, především v oblasti zátavů přírodních elektrod, ale v extrémních případech také k výbuchům, které například u výbojek xenonových a výbojek s krátkým obloukem mohou být nebezpečné. Od dříve používaného tvrdého boritého skla se pomalu upouští a většina hořáků dnešních moderních výbojek je vybavena hořákem z polykrystalických syntetických korundů, které mají výborné vlastnosti i při vysokých teplotách a tlacích. Největší vliv na životnost hořáku má jeho provozní poloha. V polohách 90 ° resp. 270 °, kdy je hořák umístěn horizontálně, dochází ke snížení účinnosti zdroje, ale především ke zvýšení tepelného namáhání trubice hořáku, z důvodů velkých teplotních rozdílů mezi „horní“ a „spodní“ částí. Bližší informace o této problematice jsou uvedeny v kapitole „2.4.3.B Vliv polohy“.

Sírná výbojka patří do kategorie vysokotlakých výbojových světelných zdrojů. Její jedinečné provedení a také princip buzení výboje umožňuje dosáhnout doby života několik desítek tisíc hodin. Nicméně opět, jako v případě indukčních zářivek, je doba života tohoto zdroje omezena napájecím zdrojem a především magnetronem.



Obr. 2-24 Střední doba života světelných diod v závislosti na teplotě PN přechodu [25].

Luminiscenční světelné zdroje jsou ve skutečnosti velmi složité materiálové struktury umístěné v malém objemu. Základem je substrátový materiál základní vodivosti, do které jsou různými technologickými postupy vytvářeny oblasti a vrstvy o různé vodivosti a dotaci příměsí. Vzniklý čip diody není tedy homogenní strukturou. Nejčastěji při montáži vlivem velkého

tepelného namáhání může dojít k částečnému narušení struktury materiálu čipu a v důsledku ke snížení doby života. Nicméně světelné diody patří mezi zdroje s nejvyššími dosahovanými dobami života ze všech světelných zdrojů. Během provozu je jejich doba života zásadně ovlivněna dvěma parametry. Prvním parametrem je velikost napájecího proudu. U světelných diod je nutné přísně dodržovat maximální hodnoty napájecího jmenovitého proudu a ty nepřekračovat. Při nižších hodnotách proudu, než je jmenovitý, mají světelné diody vyšší účinnost a jejich život se také značně prodlužuje. Vyšší hodnoty proudu způsobují pomalou degradaci přechodu, kdy dochází k vytrhávání vazeb a posilování materiálové difuze z jedné části přechodu do druhého. Druhým parametrem s velkým vlivem na účinnost a život zdroje je teplota PN přechodu. Při vysoké teplotě přechodu dochází k degradačním vlivům stejně jako při nadproudovém přetěžování, navíc zde vzniká i mechanické pnutí vlivem různé materiálové roztažnosti použitých materiálů čipu diody. Závislost průměrné doby poklesu světelného toku na 50 % počáteční hodnoty u světelných diod na teplotě PN přechodu je uvedena na *Obrázku 2-24*.

2.3.1.B Měření života světelných zdrojů

Měření života světelných zdrojů je zvláště problematickou procedurou, kdy je nejčastěji výsledkem pouze statický odhad této veličiny. U světelných zdrojů teplotních, které mají standardně nízké dosahované doby života, lze provést měření této veličiny na statistickém vzorku zdrojů v reálných nominálních podmínkách. Je uvedeno, jakým způsobem je daný světelný zdroj provozován – četnost spínání, beznapěťové pauzy apod. U ostatních světelných zdrojů s dobou života řádově vyšší je buď přistupováno odhadem na základě zkušeností nebo měřením při umělých zrychlených podmínkách stárnutí. V klimatických komorách je udržována konstantní, zpravidla vysoká teplota. Tím dochází k urychlené degradaci použitých materiálu patice, držáků, předřadných systémů a je také do jisté „bezpečné“ míry zvýšeno napájecí napětí. Ze znalosti závislosti teploty a velikosti napájecího napětí na život zdroje je možné s jistotou přesností získat střední dobu života při tomto urychleném režimu stárnutí

2.3.1.C Rozsah dosahované doby života u světelných zdrojů

Následující *Tabulka 2-17* obsahuje rozsah dosahované doby života u jednotlivých zástupců světelných zdrojů.

Tab. 2-17 Rozsah dosahované střední doby života u světelných zdrojů.

Světelný zdroj	Střední doba života světelného zdroje (h)
Žárovka	1 000 až 2 500
Halogenová žárovka	1 000 až 5 000
Lineární zářivka	5 000 až 40 000
Kompaktní zářivka	5 000 až 15 000
Rtuťová vysokotlaká výbojka	1 000 až 16 000
Směšová výbojka	3 000 až 6 000
Sodíková nízkotlaká výbojka	18 000 až 32 000
Sodíková vysokotlaká výbojka	12 500 až 55 000
Xenonová výbojka	500 až 5 000
Halogenidová výbojka	1 000 až 15 000
LED	10 000 až 100 000*
Sírná výbojka	20 000 až 60 000
Indukční zářivka	60 000 až 100 000

*U světelných diod je doba života významně závislá na provozních podmínkách.

2.3.2 Konstrukční parametry

Společně s dnes nízkou úrovní kompatibility – vzájemné výměny jednotlivých komponentů svítidel nebo různých světelných zdrojů v jednom svítidle, je nutné katalogově uvádět vlastnosti světelných zdrojů, které se souhrnně nazývají „konstrukční parametry“. Standardně jsou uváděny informace o rozměrech, případě o použité patici světelného zdroje. Nicméně pro plnou vzájemnou kompatibilitu je nutné uvádět parametrů více. Jejich výčet s popisem je uveden v několika následujících podkapitolách.

2.3.2.A Vnější rozměry světelného zdroje

Vnější rozměry světelného zdroje patří k těm běžně dostupným katalogovým údajům. Zpravidla bývá uveden rozměr šířky a délky, někdy také celkové výšky. U rotačně symetrických světelných zdrojů je to průměr nejširší části a výška. Používanou jednotkou jsou mm nebo desetiny inch (palce). Znalost těchto rozměrů je využívána pro tvorbu obalů a pro rychlou orientaci o možnosti umístění světelného zdroje do svítidla. I když je to parametr často katalogově dostupný, nevyovídá nic o použitém tvaru nebo rozmístění světelně aktivních částí zdroje.

2.3.2.B Hmotnost světelného zdroje

Hmotnost světelného zdroje, zdroje s příslušenstvím, případně kompletu zdroje s předřadným systémem je možné u některých výrobců světelných zdrojů dohledat jako katalogový parametr, jenž je opět důležitým pro volbu vhodného obalu a přibližnou orientační hmotnost balení většího počtu zdrojů. Dále pak je tato znalost vhodná pro dimenzování nosných částí svítidla. Zde je nutné vedle parametru hmotnosti udávat také umístění těžiště, které vypovídá o rozložení hmotnosti světelného zdroje a tím o míře zatížení nosných částí na ohyb.

2.3.2.C Výška světelného středu a rozměry světelně aktivních částí

U svítidel vybavených opticky aktivními prvky, například směrovým reflektorem, je nutné znát umístění světelného středu. Týká se to především zdrojů s malým vyzařovacím úhlem, například světelných diod. Tento světelný střed je uvažován pouze u rotačně symetrických zdrojů a je uváděn vzdáleností daného místa od vrcholu zdroje (na straně patice). Často dochází při náhradě světelného zdroje jiným k posuvu tohoto místa a tím pádem dochází ke značnému ovlivnění tvaru i hodnot křivek svítivosti. A ve výsledku zpravidla ke zhoršení účinnosti svítidla. Je-li povrch světelně aktivní části zdroje matovaný nebo vychází-li světelný tok z celistvých ploch zdroje, používají se k popisu přímo rozměry světelně aktivních částí. Je-li světelný zdroj osově symetrický je uváděn největší průměr a výška světelně aktivní části. A pokud je světelný zdroj tvořen jiným geometrickým útvarem než rotačně symetrickým, je údajem šířka a délka, v případě více stěn šířka každé z nich a jejich vzájemně svírající úhel. Výšku je možné vyjádřit pro každou C-rovinu zvlášť a v případě jedné společné výšky je vyjádřena pro rovinu C0. To samé platí i pro popis svítidla [6].

2.3.2.D Patice světelných zdrojů

Patice světelného zdroje plní zároveň několik funkcí. Přivádí elektrickou energii do světelného zdroje, světelný zdroj mechanicky drží na určeném místě a částečně odvádí vzniklé ztrátové teplo. Je tedy spojením umožňující rychlou a bezpečnou výměnu světelného zdroje. Z pohledu první funkce je třeba její dostatečné dimenzování pro velikost protékajícího jmenovitého proudu, v případě poruchy i proudu zkratového. Důležité je také dimenzování pro jmenovité napájecí napětí, včetně předpokladu možného výskytu napěťových špiček vzniklých například při

přechodovém ději – přepálení vlákna žárovky nebo vytváření zapalovacích impulsů pro výbojové zdroje. Snahou je tedy vytvořit samodržné nebo závitové spoje vzájemně elektricky izolované s co nejmenším přechodovým odporem a tedy s co největší styčnou plochou. Mechanické zatížení přenášené při svislém umístění světelných zdrojů je dáno pouze hmotností zdroje. Je-li zdroj umístěn v jiné než svislé poloze, v extrému v poloze vodorovné, je třeba uvažovat i se zatížením na ohyb. Patice je často jediným styčným místem zdroje ve svítidle. Proto je zde vždy předpoklad určitého odvod tepla ze světelného zdroje vedením. Pouze u světelných diod je odvod tepla žádoucí. Nicméně především u zdrojů výbojových a třeba i u halogenové žárovky je odvod tepla ze zdroje nežádoucí, protože narušuje činnost zdroje, způsobuje jeho nižší účinnost, zvýšené ztráty a v důsledku i ohřívání a přehřívání jednotlivých komponentů svítidla. Například u předřadných systémů je jejich účinnost závislá na teplotě okolí. Proto je třeba zabránit tepelnému toku ze světelných zdrojů do jejich předřadníků, jelikož to opět může ovlivnit celkovou účinnost.

2.3.2.D.a Dnešní sortiment patic

Dnešní sortiment patic je značný. Odlišnosti jsou nejčastěji cílené za účelem nemožnosti vzájemné výměny dvou nekompatibilních světelných zdrojů nebo jako ochrana před konkurencí.

Tab. 2-18 Používané patice u světelných zdrojů [5, 6].

Světelný zdroj	Používané patice
Žárovka	B15d; B22; B22d; BA15d; E14; E27; E40; P28s; S14; S19
Halogenová žárovka	B15; B22; E14; E27; E40; Fa4; G4; G38; G53, G9, GU10; GU4; GU5,3; GX16; GX5,3; GY16; GY9,5; GZ10; GZ4; GZ6,35; R7s;
Lineární zářivka	2G11; 2G13; 2G7; 2GX13; Fa6; Fa8; G10; G13; G20; G23; G5; R17d; R18s; W4,3
Kompaktní zářivka	2G10; 2G11; 2G7; 2G8; 2S11; B22; B27; E12; E14; E27; E28; E29; G23; G24d-x; G24q-x; GR10q; GR8; GRYx; GX23; GX24d-x; GX24q-x; GX53 až GX59;
Rtuťová vysokotlaká výbojka	B22d; E27; E40; SF9xx; SFa27xx; SFa33xx; SFa6xx; SFc10; SFc13; SFc15; SFc27; SFc30; SFc33; SFcX15; SFcX27; SFcY10; SFcY13;
Směšová výbojka	B22; E27; E40
Sodíková nízkotlaká výbojka	BY22d
Sodíková vysokotlaká výbojka	E27; E40; Fc2; GX12, PG12; RX7s
Xenonová výbojka	SFa12; SFa15; SFa16; SFa20; SFa21; SFa25; SFa27; SFa28; SFa30; SFa9; SFaX27; SFaX30; SFc15; SFc27; SFc28; SFcX25; SK19; SK27
Halogenidová výbojka	RX7x; Fc2; G8,5; E27; E40; G12; G22; G38; GX38; GX9,5; GY9,5; GY22; SFaxx; SFcxx; S25,5; S30; S25,5; FaX1,5; RX7s;
LED	B22d; E14; E27; G23; GU10; GU4; GU5,3; GX53

Z historického vývoje je nejdéle používanou paticí tzv. Edisonův závit, který ve třech základních modifikacích (E14, E27 a E40) je využíván pro světelné zdroje vnitřního osvětlení, ale i pro pouliční výbojky. Dnes jsou jim standardně opatřeny zdroje všech typů od žárovek, přes světelné diody, kompaktní zářivky, až po vysokotlaké výbojky. Výjimkou jsou párové patice pro lineární zářivky a zářivky ostatní s odděleným předřadným systémem. Nicméně sortiment patic je dnes daleko širší a postupně je Edisonův závit vytlačován paticemi v provedení Bxx, Gxx, yGxx, GUxx, GXxx, GYxx, Rxx, RYxx, Sxx, SFxx apod. Tabulka 2-18 obsahuje výčet používaných

patice u jednotlivých zástupců světelných zdrojů. Některé z nejpoužívanějších patic a závitů pro světelné zdroje jsou znázorněny na následujících *Obrázcích 2-25 až 2-27*.



Obr. 2-25 Patice světelných zdrojů s Edisonovým závitem [5].



Obr. 2-26 Ostatní patice světelných zdrojů A [5].



Obr. 2-27 Ostatní patice světelných zdrojů B [5].

Není-li světelný zdroj vybaven standardní paticí, to se týká především starých historických světelných zdrojů nebo zdrojů výkonových, které jsou připojeny proudovodným lankem, je třeba definovat tzv. „připojovací rozměry“. Ty určují optimální vzdálenost pro uchycení napájecích vodičů světelného zdroje, případně udávají rozmístění mechanických držáků zdroje.

2.3.2.E Provedení vnějšího krycího materiálu světelného zdroje

Vnější krycí materiál světelného zdroje je jeho neoddelitelnou součástí. Je vytvořený výrobcem a není tedy součástí světelně aktivních prvků svítidla.

Tab. 2-19 Provedení baňky u světelných zdrojů [6].

Provedení baňky	Popis a vlastnosti
Čirá	Převážná část vytvořeného světelného toku prochází skleněnou baňkou. Během života zdroje dochází k napaření materiálu vlákna na vnitřní stranu, což způsobuje pokles celkového činitele prostupu.
Matovaná, difusní	Za účelem snížení vysokého jasu vlákna žárovky nebo hořáku výbojky je vytvořeno buď chemickou cestou – leptání nebo mechanickou cestou narušení vnitřního povrchu baňky. To má za následek rozptyl světla, nicméně zároveň klesá propustnost, takže žárovka má poté menší účinnost.
Barvená	Pro selektivní propustnost pouze určité části spektra se užívá nátěrů případně pokovení pomocí tenkých kovových vrstev.
Zrcadlená	Vnitřní povrch baňky může tvořit reflektor, pokud dojde k jeho pokovení větší vrstvou kovového materiálu. Takto upravené světelné zdroje se nazývají reflektorové. Nanesených vrstev s vysokou účinností odrazu může být také využito k vytvoření potřebných křivek svítivosti.
Pokrytá luminoforem	Využívá se především u výbojových světelných zdrojů, kde pomocí nanesené vrstvy luminoforu dochází k transferu záření o kratší vlnové délce na delší. Tímto způsobem je možné pokrýt oblasti spektra, kde světelný zdroj při své činnosti světelný tok nedodává.

U zdrojů teplotních je to krycí baňka, která udržuje inertní atmosféru nebo vakuum v okolí žhavicího vlákna. Zabraňuje tedy chemické reakci rozežratého vlákna s okolním plynným obalem a díky své nízké tepelné vodivosti zabraňuje úniku tepla z vlákna vedením nebo prouděním. Podle propustnosti světla ji můžeme rozdělit na několik provedení uvedených v *Tabulce 2-19*.

U vysokotlakých výbojových zdrojů plní vnější baňka mechanickou ochranu hořáku před dotykem, dále pak chrání okolí v případě destrukce hořáku a stejně jako u zdrojů teplotních zabraňuje úniku tepla. V případě nízkotlakých sodíkových výbojek je využíváno vrstev oxidu india pro zpětný návrat IR záření a takřka bezztrátový průchod záření viditelného.

Světelné diody jsou vybaveny opticky propustným pouzdem, jenž zabraňuje přímému styku čipu zdroje s vnějším okolím, především agresivní atmosférou. Zároveň tvoří základní optickou soustavu světelné diody. Zpravidla je toto pouzdro vyrobeno z pevných pryskyřic a plastů, v případě dnešních výkonných LED modulů pomocí vytvrzených gelů.

2.3.3 Světelně-elektrické statické a provozní parametry světelných zdrojů

Do skupiny světelně-elektrických parametrů jsou zařazeny vzájemně závislé parametry světelných zdrojů, jenž není možné zařadit do jedné ze skupin parametrů elektrických nebo světelně-technických. Tyto parametry je možné vyjádřit buďto statisticky nebo pomocí křížových charakteristik.

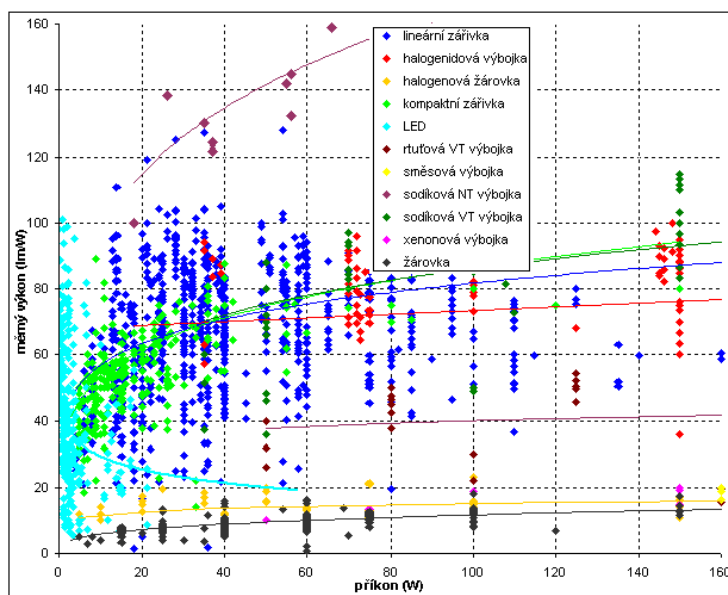
2.3.3.A Porovnání provozních parametrů světelných zdrojů

Tab. 2-20 Energetické transformační řetězce u jednotlivých světelných zdrojů [5].

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

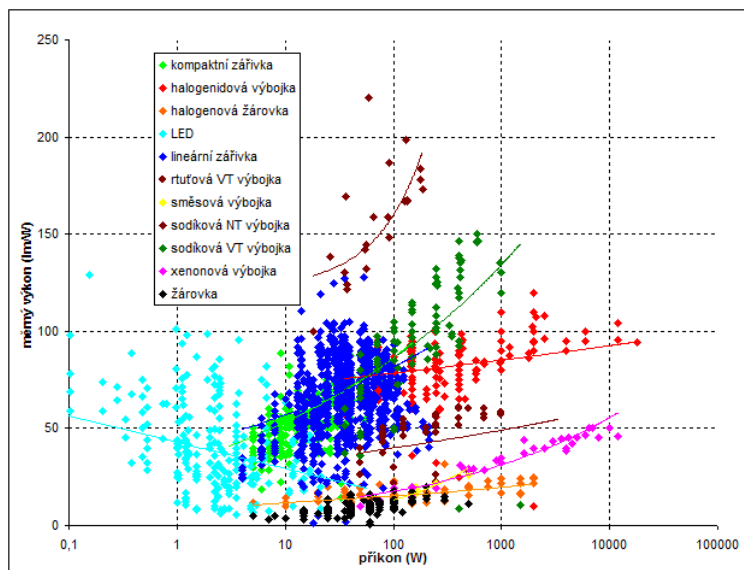
Každý zástupce světelných zdrojů má svůj vlastní řetězec přeměny elektrické energie na světlo. Jednotlivé kroky transformace uvádí *Tabulka 2-20*. U většiny dnešních zdrojů je na prvním místě předřadný systém, jenž převádí vstupní elektrickou energii na parametry vyžadované samotným světelným zdrojem. Dále je již transformace specifická. U teplotních zdrojů jde o radiaci světelného toku z rozžhaveného vlákna, u světelných diod o zářivou rekombinaci. Výbojové zdroje využívají složitěho buzení atomů plynů v hořáku. Některé z výbojových a luminiscenčních světelných zdrojů jsou vybaveny luminofory, jenž převádějí část vyprodukovaného záření na delší vlnové délky v oblasti světla. Nicméně většina energetických přeměn probíhá velmi složitě a pouze statisticky vyjádřitelným způsobem, proto informace v *Tabulce 2-20* jsou pouze informativního charakteru bez dalších uvedených podrobností.

Při plošném zobrazení závislosti dvou provozních parametrů je možné vynést trend závislosti. Vynesená závislost názorným způsobem graficky ilustruje onen vývoj veličiny, kdy především u velkého množství hodnot ztrácí přehlednost grafické informace smysl. Příklad zobrazení závislosti dvou parametrů pomocí vynesených trendů je na *Obrázku 2-28*. Pro dosažení tohoto výsledku bylo využito získaných katalogových údajů z okolo 4 500 světelných zdrojů. Na grafu je porovnána dosažená hodnota měrného výkonu na příkonu. Pro většinu světelných zdrojů je tento trend stoupající, což odpovídá předpokladům. Opak je u světelné diody, u níž je trend závislosti klesající.



Obr. 2-28 Závislost dosahovaného měrného výkonu na jmenovitém příkonu světelných zdrojů [26].

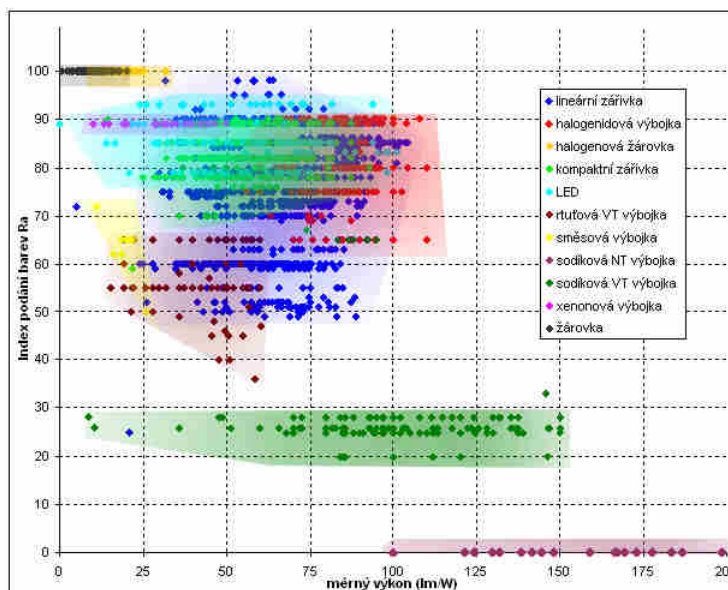
Z důvodu snadné čitelnosti dat je graf zobrazen pouze do 160 W jmenovitého příkonu světelných zdrojů, takže v něm nejsou zahrnuty údaje pro světelné zdroje vyšších příkonových řad. Také čitelnost informace na nižších jmenovitých příkonech světelných zdrojů není ideální. Pro odstranění tohoto problému byl vytvořen následující graf na *Obrázku 2-29*, kde je daná závislost vyjádřena s logaritmickou osou jmenovitých příkonů.



Obr. 2-29 Grafická závislost dosahovaného měrného výkonu na jmenovitém příkonu světelných zdrojů v logaritmickém měřítku [26].

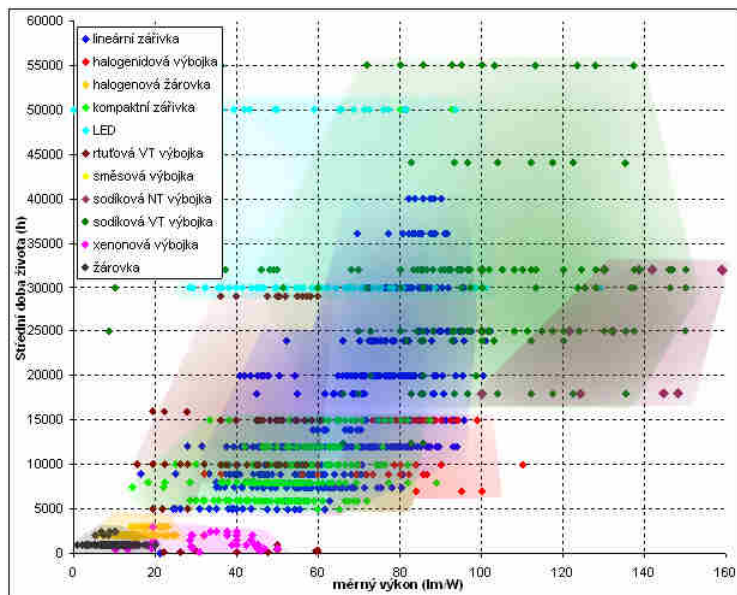
Díky značnému rozptylu příkonových řad světelných zdrojů jsou i jejich provozní parametry různé. Proto není při grafické komparaci parametrů užíváno jenom několik bodů, nýbrž je častěji využito vyhraněných ploch, kde je pravděpodobnost výskytu daného parametru alespoň 50 %.

Příkladem takové komparace je relace mezi indexem podání barev a dosahovaným měrným výkonem. Grafická relace daných veličin je znázorněna na Obrázku 2-30. Index podání barev, jakožto kvalitativní parametr nese informaci o kvalitě produkovaného světla. A měrný výkon udává účinnost zdroje. V přírodě a v podstatě všude kolem nás platí pravidla rovnováhy. Na jedné straně je kvalita a na druhé kvantita. To samé platí i v případě této relace, kdy je většina „kvalitních světlo poskytujících“ světelných zdrojů zatížena menší účinností přeměny elektrické energie na světlo. A naopak světelné zdroje s vysokou účinností dosahují nízkých kvalit. Nicméně tuto rovnováhu narušují vývojově nejnovější světelné zdroje, jako je například halogenidová výbojka, kvalitní lineární zářivky, sifná výbojka a zdroje luminiscenční. U nich je předpoklad vysoké kvality poskytovaného světla a zároveň vysoké účinnosti.



Obr. 2-30 Relace mezi indexem podání barev a měrným výkonem u světelných zdrojů [26].

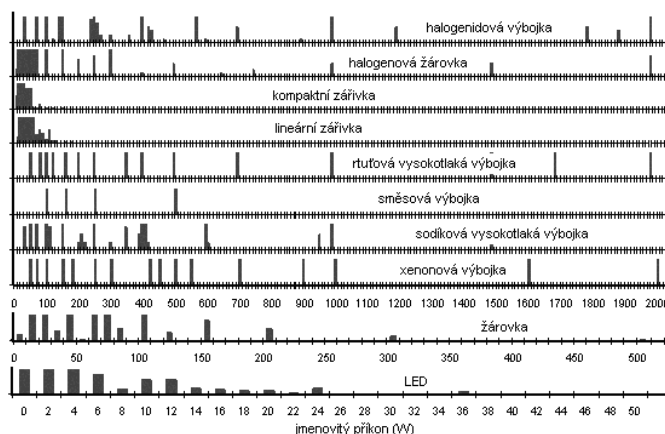
Podobně jako na předchozím grafu je možné znázornit střední dobu života a měrný výkon. Daná relace je znázorněna na *Obrázku 2-31* a udává ekonomiku provozu světelných zdrojů. Provozní parametry jsou úměrné účinnosti zdrojů, tedy dosahovanému měrnému výkonu a střední doba života souvisí s investičními náklady a údržbou. V této oblasti jasně dominují moderní světelné zdroje s vyšší délkou života a vysokou účinností. Naopak zdroje vývojově starší (žárovky) dosahují nízkých hodnot účinnosti a zároveň i krátkého života.



Obr. 2-32 Relace mezi střední dobou života sv. zdrojů a dosahovaného měrného výkonu [26].

2.3.3.B Statistické vyhodnocení provozních parametrů světelných zdrojů

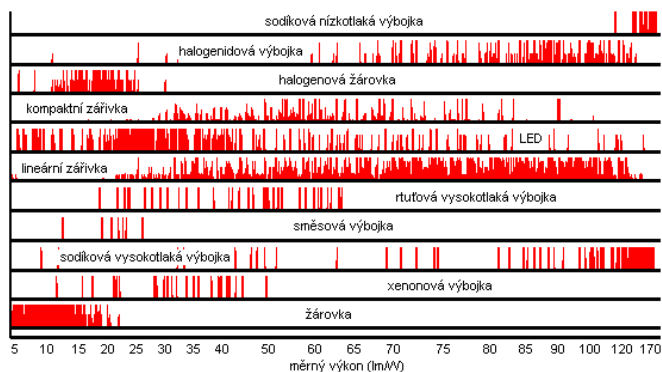
Rozsah a četnost vzájemně porovnatelných provozních parametrů světelných zdrojů je možné znázorňovat také pomocí jejich statistického vyhodnocení. Příkladem mohou být příkonové řady. Na *Obrázku 2-32* jsou histogramy v poměrných hodnotách, jenž znázorňují v jakých příkonových řadách jsou světelné zdroje dostupné na trhu. Měřítka příkonu je pro většinu zdrojů zpracováno s rozlišením na 20 W, u žárovek na 10 W a u světelných diod je použito rozlišení 2 W.



Obr. 2-32 Míra zastoupení jmenovitých hodnot příkonu u světelných zdrojů [27].

Obrázek 2-33 znázorňuje míru zastoupení vypočtených hodnot dosahovaného měrného výkonu. Opět jsou zde použity histogramy v poměrných hodnotách. Z daného grafického vyjádření je parné, že světelné diody, kompaktní a lineární zářivky dosahují značného rozptýlení těchto hodnot, což je způsobeno značně rozsáhlým sortimentem s širokým intervalem jmenovitých

hodnot příkonu. Jak bylo již znázorněno na grafické závislosti na *Obrázku 2-29*, hodnota měrného výkonu u většiny světelných zdrojů s jejich příkonem statisticky stoupá.

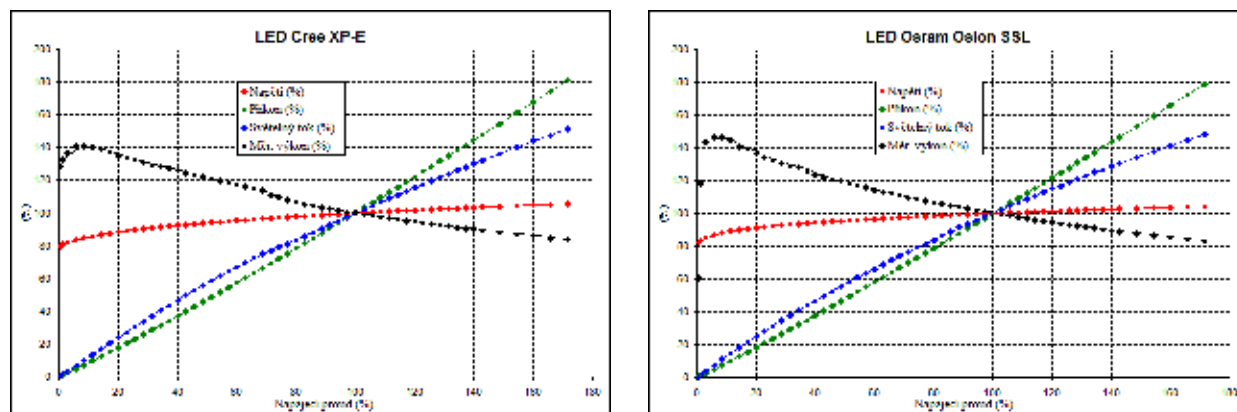


Obr. 2-33 Zastoupení vypočtených hodnot měrného výkonu u světelných zdrojů [27].

2.3.3.C Křížové charakteristiky světelných zdrojů

Křížová charakteristika je katalogově nejčastěji uváděným grafickým znázorněním závislosti provozních parametrů světelných zdrojů v závislosti na napájecí veličině. Tyto charakteristiky se vynášejí v poměrných jednotkách takřka všech veličin, s výjimkou teploty. Výhodou poměrných hodnot je možnost snadného vzájemného porovnání více zdrojů. Dále pak vedle bodu (0, 0) procházejí všechny křivky průsečíkem (100 %, 100 %). Právě díky znalosti těchto dvou bodů je možné provádět vzájemná porovnání automaticky pomocí výpočetní techniky. Pomocí křížových charakteristik jsou často vynášeny provozní parametry i pro jmenovité napájecí hodnoty nad 100 %. Z tohoto důvodu vzniklo pojmenování těchto charakteristik „křížové“, jelikož po průchodu 100 % se jednotlivé trendy opět rozcházejí.

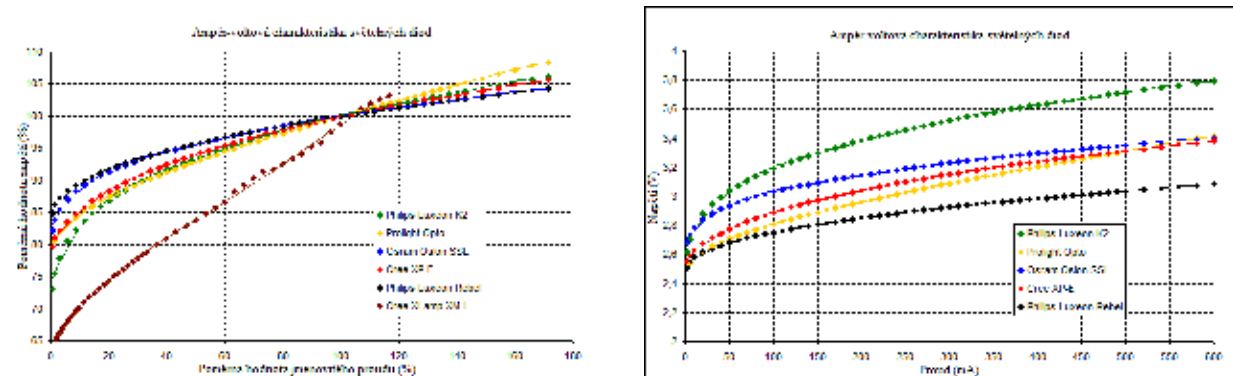
Světelné zdroje teplotní a výbojové mají ve vodorovné ose vyneseno napájecí napětí, zdroje luminiscenční mají proud jako závislou napájecí veličinu. Mezi nejčastěji uváděné katalogové veličiny závislé na napájecích parametrech patří činný příkon, dosahovaný měrný výkon, světelný tok a proud. V případě světelných diod bývá vyneseno i úbytek napětí v závislosti na napájecím proudu. Pro laboratorní účely mohou být křížové charakteristiky vyneseny i v podobě vícerozměrné. Do další osy mohou být vyneseny závislosti daných veličin například na teplotě PN přechodu pro světelné diody nebo na poloze pro zdroje výbojové. *Obrázek 2-34* uvádí naměřené křížové charakteristiky pro světelné diody výrobce CREE a OSRAM.



Obr. 2-34 Křížová charakteristika světelné diody CREE XP-E a OSRAM Oslon SSL.

Vedle často užívaných křížových charakteristik mohou být pro využití vzájemného ovlivnění dvou provozních veličin použity jednoduché 2D grafy vyjádřené buď v poměrných nebo

v absolutních jednotkách daných veličin. Příkladem může být zatěžovací charakteristika nebo voltampérová, případně ampér-voltová charakteristika. Příklad takové závislosti provozních veličin u několika vybraných zástupců světelných diod je uveden na následujícím Obrázku 2-35, kde jsou zobrazeny ampér-voltové závislosti v poměrných, ale i absolutních hodnotách.



Obr. 2-35 Ampér-voltové charakteristiky světelných diod v poměrných i abs. hodnotách.

2.3.3.D Kontingenční tabulky

Podobně jako nejruznější statistická vyjádření provozních parametrů lze velmi efektivně a přehledně vyjádřit parametry pomocí tzv. kontingenčních tabulek. Jejich nevýhodou je možnost uvedení pouze dvou veličin. Jedna veličina odpovídá řádkům, druhá sloupcům. Výhodou je naopak velmi rychlá vizualizace číselných hodnot pomocí tabulkových editorů včetně nejpoužívanějšího programu MS Excel. Výhodou je také možnost inteligentního testování, zda-li mezi veličinami existuje nějaká závislost. Toho lze především využít v nadstavbách databázových systémů, ve kterých je možné zaznamenávat vazby a závislosti mezi veličinami. Pomocí kontingenčních tabulek lze například zaznamenat variabilitu světelných zdrojů, výkonové řady, případně vzájemné relace parametrů s uvedením počtu dostupných typových výrobků daného výrobce. Příklad je uveden na následujícím Obrázku 2-36, kde je pomocí kontingenčních tabulek uveden počet dostupných typů kompaktních zářivek s danými parametry [28].

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

Náhradní teplota chromatičnosti a index podání barev

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

Náhradní teplota chromatičnosti a střední doba života

Obr. 2-36 Počet dostupných kompaktních zářivek s danými parametry [5].

2.3.4 Parametry světelných zdrojů pro osvětlování rostlin

Světelné zdroje nemusejí sloužit pouze lidem, ale mohou osvětlovat prostory pro různá terarijní a akvariijní zvířata nebo být využita pro osvětlování rostlin. Nicméně v těchto případech by nebylo

na místě používat pojmy jako „osvětlování“ a „fotometrie“, jelikož tyto pojmy jsou definovány pouze v oblasti viditelného spektra 380 až 780 nm a s ohledem na spektrální citlivost lidského oka. Proto se užívá pojmů z oblasti radiometrie, případně speciálně pro tyto účely vytvořených jednotek.

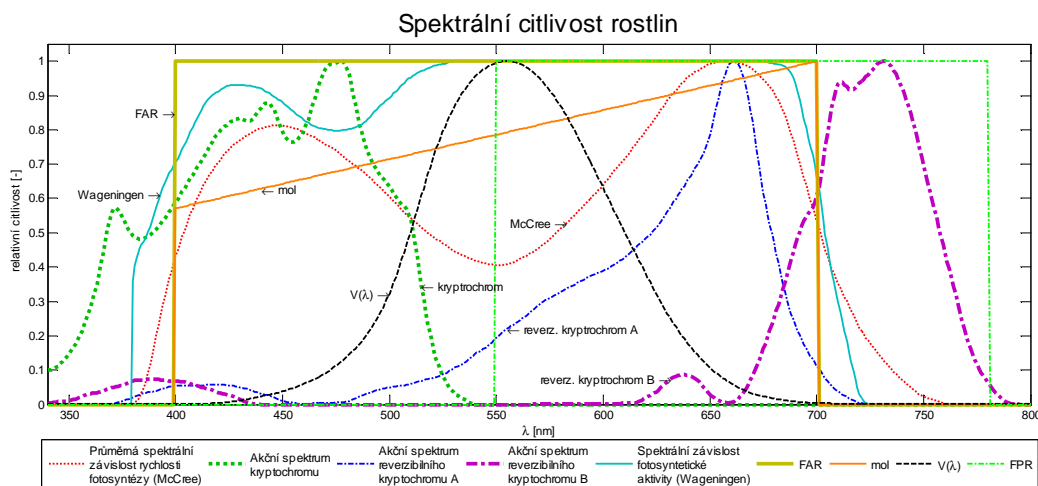
V současné době je dostupných několik světelných zdrojů určených čistě pro osvětlování rostlin. Požadavky na intenzitu osvětlení (intenzitu ozáření) jednotlivých druhů pěstovaných rostlin se vzájemně liší, někdy až o několik řádů. Je tedy rozdílné, zda-li se pro jejich ozařování využívá i slunečního záření, například v odkrytých prostorech nebo nejrůznějších sklenících. Potom je umělých zdrojů používáno pouze jako doplňkových. V případě realizace osvětlení v uzavřených pěstebních komorách nebo fytotronech jsou požadavky na osvětlení zpravidla řádově vyšší. Specifické parametry jsou kladeny na světelné zdroje, jenž se liší od běžného osvětlování. Dále pak různé možnosti realizace a výsledné dosahované parametry jsou uvedeny v následujících kapitolách.

2.3.4.A Parametry a požadavky na světelné zdroje určené pro osvětlování rostlin

Pro účely osvětlování rostlin jsou na používány běžné světelné zdroje nebo speciálně za tímto účelem vyvinuté. Hlavními rozdíly oproti běžnému osvětlování jsou rozdílná spektrální citlivost rostlin a také zpravidla řádově vyšší požadavky pro dosažené osvětlenosti (ozářenosti).

2.3.4.A.a Spektrální citlivost rostlin

Na rozdíl od lidského oka má rostlina zcela odlišnou spektrální citlivost. Můžeme ji rozdělit na dvě části. Z pohledu prvního jsou důležité všechny vlnové délky od 400 do 700 nm pro růst rostliny, resp. pro přírůstek hmoty. Oblast kolem 700 nm, jenž zasahuje hluboko i do IR oblasti spektra je důležitá pro vývin rostliny v její počátečné fázi a také pro správný vývin květů a plodů. Naopak rychlost růstu rostliny, přírůstek hmoty a také její výšku nejvíce ovlivňuje oblast vlnových délek kolem 400 nm.



Obr. 2-37 Spektrální citlivost rostlin [29].

Pro člověka oblasti spektra vnímaná s nejvyšší citlivostí okolo vlnových délek 555 nm je z pohledu rostliny vnímána nejméně. Převážná část se díky zelenému zbarvení rostlin odrazí a rozptýlí do prostoru. Z pohledu druhého je povrch rostliny vybaven velkým množstvím fotoreceptorů, které ovlivňují takřka všechny procesy látkové výměny uvnitř rostliny. Spektrální

citlivost jednotlivých receptorů je od oblasti UV-A až po zhruba 1 000 nm v oblasti IR. Na následujícím *Obrázku 2-37* je graficky znázorněna spektrální citlivost rostlin.

Je vynesena od cca 350 do 800 nm a postihuje převážnou část pro rostliny potřebného spektra. Je uvedena pro průměrnou rostlinu. Díky značné rozmanitosti flóry a také kvůli rozdílnému zbarvení listů je citlivost různá. Uprostřed je černou přerušovanou křivkou vynesena spektrální citlivost lidského oka tzv. $V(\lambda)$ křivka. Průměrná spektrální rychlost fotosyntézy, tedy syntézy cukrů a dalších stavebních látek je vyznačena červenou tečkovanou křivkou, označovanou jako křivka McCree, pojmenovaná podle svého tvůrce. Je dána přibližnou souhrnnou citlivostí jednotlivých fotoreceptorů. A je na ní patrný značný pokles právě v oblasti nejvyšší spektrální citlivosti lidského oka. Průběh této křivky je ve skutečnost pro každou rostlinu trochu rozdílný, navíc křivka není symetrická. Proto došlo k jistému zjednodušení. Byla vybrána oblast spektra, kde leží převážná část křivky McCree, od 400 do 700 nm. Tato oblast spektra byla nazvána jako „fotosynteticky aktivní záření“ s relativní spektrální citlivostí „1“. Označení této křivky, spíše tedy výšeče spektra, se pak označuje zkratkou FAR případně PAR (z angl. Photosynthetic Active Radiation). Na grafu znázorněno žlutozelenou čarou. Záření resp. zářivý tok v této oblasti spektra se označuje Φ_{FAR} nebo Φ_{PAR} , jednotkou jsou W_{FAR} [29, 30].

Při návrhu osvětlení pro rostliny je více prakticky užívaná veličina související s fotosynteticky účinným fotonovým tokem. Matematicky vyjádřeno se jedná o intenzitu fotonů v oblasti spektra FAR, která je předána v jednom μmol anorganickým látkám, většinou vodě a oxidu uhličitému, jenž posléze prostřednictvím této energie syntetizují organické stavební látky rostliny. Takže výslednou používanou jednotkou fotosynteticky účinného fotonového toku jsou $\mu\text{mol}\cdot\text{s}^{-1}$. Pro intenzitu ozáření je užíváno $\mu\text{mol}\cdot\text{s}^{-1}\cdot\text{m}^{-2}$. Jelikož je účinnost fotonového toku závislá na vlnové délce, resp. na energii fotonu, je nutné graficky tuto závislost znázornit. Spektrální citlivosti fotosynteticky účinného fotonového toku náleží v grafu oranžová křivka označená „mol“. Pro mezní hodnotu 700 nm je zvolena relativní spektrální citlivost 1 a v rámci zachování energie fotonu je spektrální citlivost pro 400 nm zvolena jako 4/7 [29, 30].

2.3.4.A.b Požadavky na ozáření

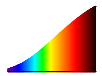
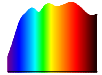
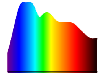
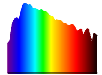

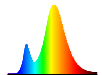
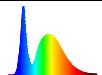
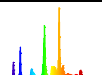
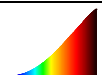
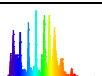
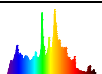
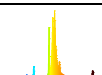
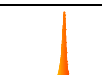
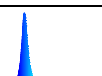
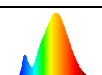
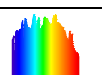
Intenzitu ozáření, ekvivalent osvětlenosti ve fotometrii, můžeme vyjádřit ve dvou užívaných jednotkách. Intenzita ozáření E_{FAR} užívá jednotku $W_{FAR}\cdot\text{m}^{-2}$ a veličina $E_{\mu\text{mol}}$ jednotku $\mu\text{mol}\cdot\text{s}^{-1}\cdot\text{m}^{-2}$. Většina uměle pěstovaných rostlin ve fytoztrónových komorách vyžaduje intenzity ozáření v rozmezí 50 až 500 $\mu\text{mol}\cdot\text{s}^{-1}\cdot\text{m}^{-2}$. Při návrhu osvětlovacích soustav jsme zvyklí užívat fotometrickou veličinu osvětlenost v lx. Přepočítání do této námi snadno pochopitelné a měřitelné veličiny je problematické, není lineární a je závislá na konkrétní spektrální distribuci daného světelného zdroje. Následující *Tabulka 2-21* uvádí přepočítání mezi těmito veličinami pro vybraná normalizovaná světla a světelné zdroje.

Pro převod mezi fotometrickými a radiometrickými fotosynteticky aktivními veličinami je prováděno prostřednictvím tzv. váhovacího koeficientu k_{FAR} nebo podle následujících vztahů (2-12) a (2-13) [29].

$$\begin{aligned} E_{FAR} &= E \cdot k_{FAR} / 1000 \\ E_{\mu\text{mol}} &= E \cdot k_{\mu\text{mol}} / 1000 \end{aligned} \quad (2-12)$$

$$\begin{aligned} \Phi_{FAR} &= \Phi \cdot k_{FAR} / 1000 \\ \Phi_{\mu\text{mol}} &= \Phi \cdot k_{\mu\text{mol}} / 1000 \end{aligned} \quad (2-13)$$

Tab. 2-21 Přepočet mezi fotometrickými veličinami a veličina pro osvětlování rostlin [29].

Váhovací koeficient		Standardní 400 až 700 nm		McCree	
Druh světla		k_{FAR}	$k_{\mu\text{mol}}$	k_{FAR}	$k_{\mu\text{mol}}$
A		3,983	19,978	3,186	16,508
B		3,908	18,306	2,856	13,709
C		4,112	18,637	2,939	13,566
D65		3,990	18,067	2,835	13,077
I		4,124	18,962	3,022	14,209
LED Warm		2,718	13,130	1,86	8,846
LED Cold		3,075	13,934	2,025	9,199
Kompaktní zářivka teplá		2,676	12,633	1,732	8,300
Standardní žárovka		4,274	21,942	3,587	19,019
Xenonová výbojka		3,225	14,254	2,057	9,095
Halogenidová výbojka		3,367	15,572	2,304	10,787
Vysokotlaká sodíková v.		2,317	11,341	1,456	7,184
RED LED		6,155	32,643	5,562	29,552
BLUE LED		20,116	77,143	15,631	59,843
Prototyp LED 2700 K		2,917	14,224	2,006	9,970
Sírná výbojka Lifi 300 W		3,650	16,652	2,449	11,295

Jak již bylo zmíněno, pro správnou funkci a růst rostlin je třeba, aby ve spektru byly zastoupeny všechny vlnové délky. Nicméně z pohledu spektrální účinnosti fotosynteticky aktivního záření nejlépe vychází zdroje s nejvyššími váhovacími koeficienty. Nejlepší z teoretických světél se jeví záření ze zdroje s izoenergetickou spektrální distribucí, následují pak denní druhy světla B a D65. U reálných umělých světelných zdrojů je na tom nejlépe plasmová sírná výbojka a teplé bílé světelné diody. Špatně na tom není ani halogenidová výbojka a zdroje teplotní. Nejhůře dopadly kompaktní zářivky a vysokotlaké sodíkové výbojky.

Nicméně je nutné brát ohled na vývoj rostliny. Rostlina si ve svých různých fázích vývoje klade odlišné požadavky na spektrum. Proto je ekonomicky výhodnější používat světelné zdroje s proměnným spektrem nebo s možností regulace jednotlivých světelných zdrojů s různou spektrální distribucí tak, aby se co nejlépe dosáhlo potřebného efektu.

2.3.4.B Světelné zdroje vhodné pro účely osvětlování rostlin

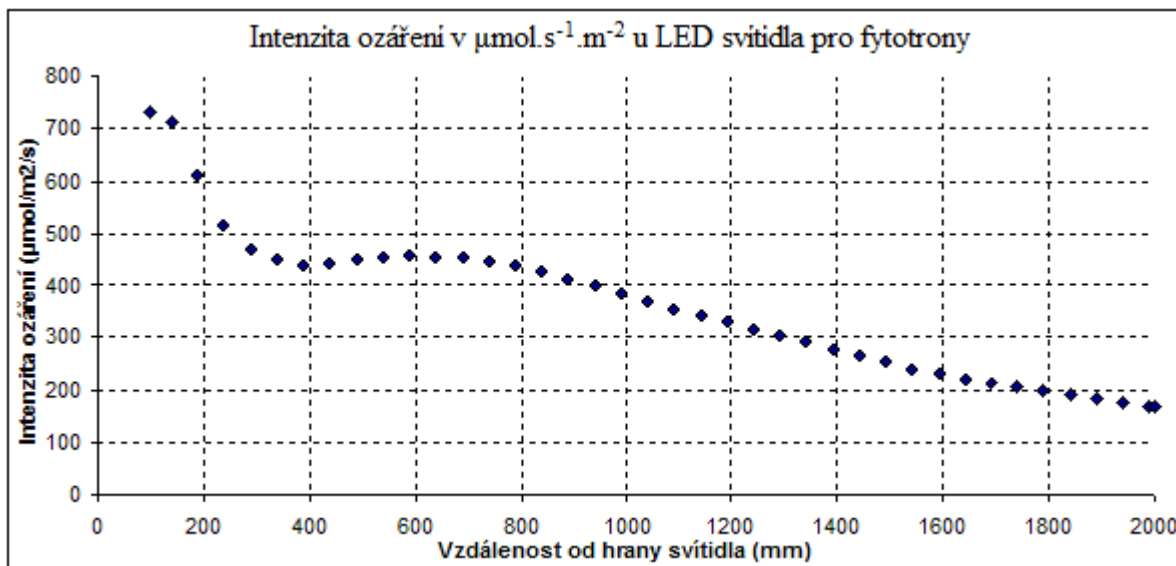
Jak již bylo zmíněno v předchozí kapitole, tak ze všech umělých světelných zdrojů jsou na tom pro osvětlování rostlin nejlépe halogenidové, sirmé výbojky a světelné diody. Naopak běžné zářivkové zdroje dosahují nízkých účinností. V sortimentu výrobců jsou k dostání také zářivky s označení „Flora“, jejichž spektrální distribuce je značně odlišná od běžného třípásmového provedení a jsou pro osvětlování rostlin výhodnější.

Požadavky na světelný zdroj pro osvětlování rostlin lze shrnout do čtyř následujících bodů. Prvním je dosažitelná intenzita ozáření až $500 \mu\text{mol}\cdot\text{s}^{-1}\cdot\text{m}^{-2}$. Dále pak regulace výkonu, vhodná spektrální distribuce s co nejvyšší fotosyntetickou účinností a podle možnosti regulace spektra. Těmto parametrům vyhovuje jediný dnes dostupný světelný zdroj – světelná dioda. Nicméně funkční a dostatečně parametrově vyhovující svítidla lze sestavit také s použitím halogenidových výbojek, sirmých výbojek a speciálních zářivek, určených pro osvětlování rostlin.

Proto uváděným parametrem v databázi světelných zdrojů je vypočtená hodnota zářivého toku Φ_{FAR} fotosynteticky aktivního záření. Takže uživatel databáze přímo vidí, zda-li je konkrétní světelný zdroj vhodný pro růst a zdravý vývoj rostlin.

2.3.4.C Specifické parametry svítidel určených pro osvětlování rostlin

Podobně jako v oblasti běžného osvětlování jsou parametry svítidel, resp. použitých světelných zdrojů popsateľné pomocí světelně-technických, elektrických a případně ostatních parametrů.

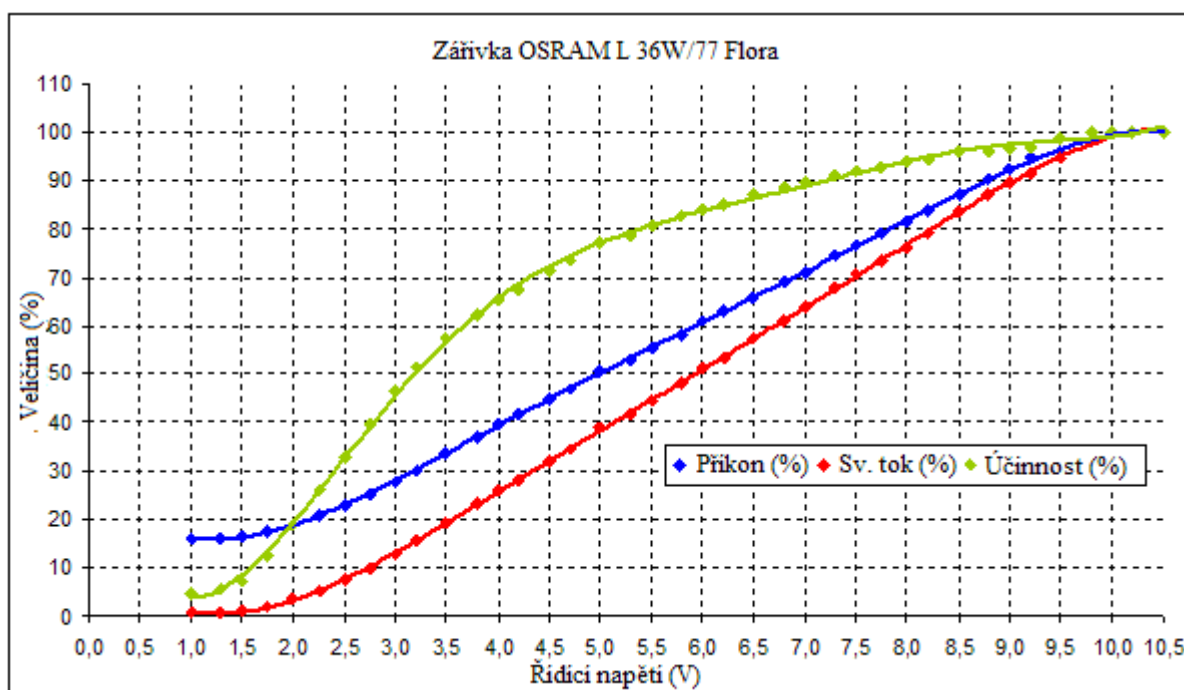


Obr. 2-38 Závislost intenzity ozáření na vzdálenosti svítidla od ozařované plochy.

Požadavkem na svítidlo je koncentrace zářivého toku do ozařovaného prostoru, kde jsou umístěny rostliny. K tomuto účelu jsou světelné zdroje vybaveny světelně aktivními prvky, které umožňují fokusaci fotosynteticky aktivního záření do tohoto prostoru a navíc s požadovanou rovnoměrností. Křivky svítivosti jsou pak velmi úzké a při využití dnešních výkonových LED modulů lze s dostupnou optikou dosáhnout jejich vyzařovaného úhlu okolo 10° . Často je potřeba

měnit výšku (vzdálenost) svítidla od ozařované plochy a tím regulovat velikost ozařované plochy a také intenzitu ozáření bez nutnosti změny napájecích parametrů. Nicméně kvůli rozměrným plošným provedením svítidel neplatí na krátké vzdálenosti od svítidla fotometrický čtvercový zákon a ozáření se změnou vzdálenosti ozařované plochy od zdroje neklesá podle předpokladů. Příkladem může být graf na *Obrázku 2-38*, na kterém je vynesena závislost naměřené intenzity ozáření v $\mu\text{mol}\cdot\text{s}^{-1}\cdot\text{m}^{-2}$ na vzdálenosti od hrany svítidla.

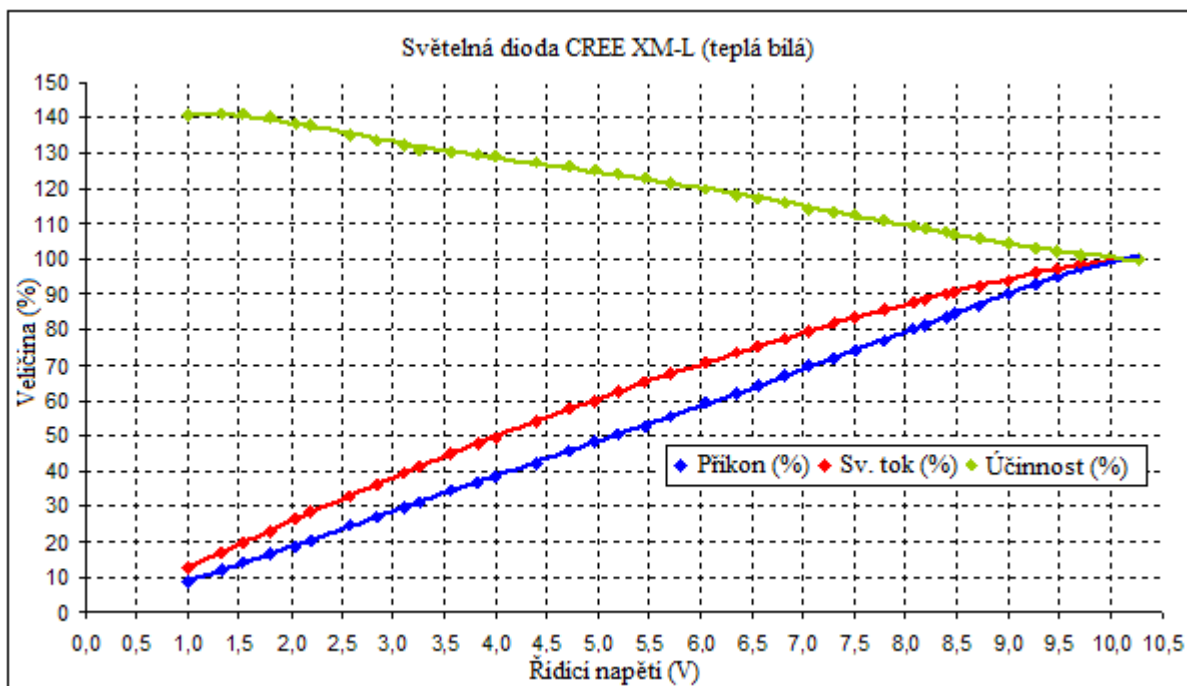
Regulace výkonu, resp. velikosti napájecího proudu nebo napětí světelných zdrojů ve svítidle zabezpečují předřadné systémy. Některá provedení těchto předřadníků umožňují regulovat velikost napájecí veličiny většinou v rozsahu 10 až 100 % jmenovité hodnoty. Jako řídicí veličina je nejčastěji použito stejnosměrné napětí v rozsahu 1 až 10 V nebo proud od 4 do 20 mA. Kvůli nelinearitě předřadného systému, ale především nelineární účinnosti světelných zdrojů v závislosti na příkonu neodpovídá velikost dosaženého zářivého toku světelného zdroje poměrné hodnotě velikosti řídicí veličiny.



Obr. 2-39 Závislost provozních veličin na řídicím napětí u zářivky OSRAM L 36W/77 Flora.

To má za následek nutnost vytvoření převodních charakteristik, nejlépe graficky vyjádřitelných v relativních souřadnicích, pomocí křížových charakteristik. Na *Obrázcích 2-39* a *2-40* jsou graficky znázorněny závislosti provozních veličin na velikosti řídicího napětí. Prvním grafem na *Obrázku 2-39* jsou zářivky OSRAM L 36W/77 Flora, které jsou napájeny předřadným elektronickým systémem OSRAM QuickTronic Intelligent QT_i 2x36DIM. Pro řízení je užíváno stejnosměrného napěťového signálu 1 až 10 V [30].

Druhým grafem je závislost provozních veličin na řídicím napětí u svítidla vybaveného světelnými diodami CREE XM-L (teplá bílá) s jmenovitým proudem 3 A. Diody jsou napájeny z elektronického předřadného systému s maximálním výstupním výkonem 240 W a regulací výstupního proudu v rozsahu 0,5 až 5 A. Jeho označení je Mean Well HLG-240H-48B.



Obr. 2-40 Závislost provozních veličin na řídicím napětí u světelné diody CREE XM-L.

2.3.5 Světelné zdroje a životní prostředí

Tab. 2-22 Tři časové fáze výroby komponentů pro osvětlování [31].

Fáze	Charakter zátěže
Výroba	Výrobu komponentů pro osvětlování je možné rozdělit na fázi těžby a zpracování potřebných nerostných surovin. Také na výrobu těžebních a zpracovatelských strojů. Poté samotné technologické (mechanické a chemické) procesy při výrobě komponentů. Na výrobu se používají jedovaté materiály, těžké kovy, organické jedy. Spotřeba elektrické energie a ve velkém množství také vody, dále pak balení a transport.
Provoz	Provoz jednotlivých komponentů, převážně světelných zdrojů je zatížen občasnými úniky toxických látek do okolí. Nicméně největší zátěž tvoří spotřebovaná elektrická energie, při jejíž výrobě se do okolního prostředí uvolňuje značné množství toxických a skleníkový efekt způsobujících látek.
Zpracování, skládkování, recyklace	Konečná fáze komponentů začíná jejich demontáží a transportem k dalšímu zpracování. Energeticky náročné třídící procesy umožní částečnou recyklaci, případně uložení netoxických materiálů jako odpad. Bohužel převážná část dnešních světelných zdrojů obsahuje toxické materiály a jen malé části se zabrání k průniku do životního prostředí.

Jakákoliv činnost člověka za sebou zanechává stopy. Pokud je tato činnost uvážlivá, přírodní procesy dokáží většinu počinů neutralizovat a vše uvést do stabilního stavu. Nicméně přibližně od dob Francouzské revoluce začal člověk využívat přírodní zdroje nerozvážně. Značně se zvýšila činnost spojená s dobýváním a spalování fosilních paliv a tím nastolení lavinovitého procesu, dnes známého jako tzv. Globální oteplování.

Ruku v ruce následovala neustále se zvyšující těžba nerostných surovin, drancování přírody, rozvoj chemického průmyslu a jednotlivých technologií. Výsledků tohoto procesu si dnes užíváme naplno. Z pohledu odběratele elektrické energie ji máme takřka „neomezené“ množství

dostupné 24 hodin denně. Sortiment elektrických spotřebičů, včetně těch určených pro osvětlování, se každoročně značně zvyšuje.

Jednotlivé komponenty pro osvětlování (světelné zdroje, svítidla a další příslušenství) mají vliv na životní prostředí těžbou surovin a vypouštěním toxických látek, mírou vypouštěných plynných emisí a také vliv na spotřebovanou elektrickou energii. Podle míry a charakteru zátěže můžeme komponenty pro osvětlování rozdělit na tři časové fáze, jež jsou popsány v *Tabulce 2-22*.

2.3.5.A Vliv teplotních světelných zdrojů na životní prostředí

Pro výrobu teplotních zdrojů se nepoužívají žádné jedovaté a životní prostředí ohrožující materiály, nicméně minimálně používaný wolfram na žhavicí vlákna a molybden pro podpěrné háčky vláken, je vysoce energeticky náročným materiálem. Při své těžbě, ale především při mechanických procesech úpravy již kovových prvků, je potřeba velké množství energie, ale i vody. Výsledkem je znečištění vlivem vypouštěných exhalací. Halogenové žárovky obsahují pevně chemicky vázané látky jako methylbromid a methyljodid, které i při uvolnění do životního prostředí nepředstavují zvýšené riziko.

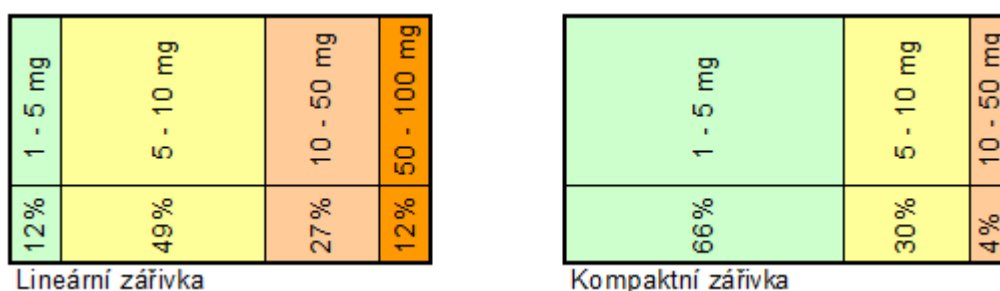
Dále při provozu teplotních zdrojů nedochází k žádným únikům nebezpečných látek do okolí a také při ukončení jejich technického života není nutné s těmito zdroji zacházet jako s potenciálně nebezpečným toxickým odpadem. Nicméně je nutné upozornit, že teplotní světelné zdroje patří do kategorie zdrojů s nízkou účinností přeměny elektrické energie na světlo. Tudíž při svém chodu spotřebují několikanásobně větší množství energie, než jejich energeticky úsporné náhrady. Při dnešní skladbě výroby elektrické energie v ČR (data z roku 2012) je v průměru minimálně 50 % vyráběno spalováním hnědého a černého uhlí. Uhlí vytěžené a spálené na našem území obsahuje vždy malé množství radioaktivních látek a těžkých kovů, jež při spálení unikají do životního prostředí, především v plynném skupenství. Mezi nejnebezpečnější a také nejčtenější těžké kovy patří rtuť a kadmium. Takže ve výsledku při spalování uhlí v tepelných elektrárnách dochází k uvolnění přibližně 16 ng rtuti na každou vyrobenou kWh. Při uvažování průměrné spotřeby elektrické energie v EU je na osvětlování spotřebováno 112 TWh elektrické energie a tím jsou vyprodukovány emise rtuti okolo 1,8 t za rok. Roku 2007 se v celé EU prodalo okolo 770 milionů kusů teplotních světelných zdrojů. Provoz těchto zdrojů způsobil emise rtuti okolo 660 kg, to znamená přibližně 0,86 mg rtuti na jednu vyrobenou žárovku [31].

2.3.5.B Vliv nízkotlakých výbojových světelných zdrojů na životní prostředí

Většina výbojových světelných zdrojů obsahuje rtuť, výjimkou je pouze nízkotlaká sodíková výbojka. Obsah rtuti je závislý na velikosti světelného zdroje, provedení hořáku, vnitřním provozním tlaku a případně dalších chemických příměsí v aktivní zóně hoření výboje. U nízkotlakých výbojových zdrojů – zářivek se užívá rtuť v čisté podobě (starší provedení, většinou lineární zářivky v provedení T8) a nebo ve formě chemicky vázaných amalgámů (lineární zářivky v provedení T5 nebo kompaktní a indukční zářivky).

Již při výrobě a těžbě potřebných surovin pro tyto zdroje uniká do životního prostředí velké množství rtuti, která se těží a zpracovává zpravidla v méně technologicky a ekologicky rozvinutých zemích světa. Převážná část výroby zářivek je dnes soustředěna do Číny, kde jsou obrovské plochy výrobních závodů a přilehlého životního prostředí rtutí kontaminovány. Během provozu za normálních podmínek ze světelného zdroje neunikají žádné nebezpečné látky, nicméně v případě porušení hermetičnosti hořáku nebo jeho rozbití mohou do okolního prostoru

uniknout páry rtuti. Běžná kompaktní zářivka obsahuje za pokojové teploty přibližně 50 μg rtuti v plynné podobě, zbytek obsahu je vázán ve formě amalgámů nebo je ve skupenství tekutém. Pro člověka jsou nebezpečné dávky par rtuti nad 150 $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ (dáno nařízením vlády č. 361/2007 Sb.). Nicméně při testech rozbitých zářivek nebyla nikdy překročena hodnota 100 $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$. Člověk svými smysly dokáže rozlišit koncentrace par rtuti ve vzduchu až od 1 $\text{mg}\cdot\text{m}^{-3}$. Po ukončení života zářivky je nutné s celým světelným zdroje nakládat jako s toxickým nebezpečným odpadem. Jak již bylo napsáno, část rtuti je uvnitř trubice v plynném skupenství, část v pevném nebo kapalném. Nicméně během provozu dochází k chemickému a mechanickému vázání rtuti také na žhavicí elektrody a jejich materiál. Nicméně převážně se rtuť váže také do porézní struktury luminoforu. Takže v závěrečné fázi života zdroje obsahuje luminofor přibližně 1 % z celkového obsahu rtuti. Na následujícím Obrázku 2-41 je znázorněn procentuální počet prodaných kusů lineárních a kompaktních zářivek vzhledem k jejich obsahu rtuti. Data jsou aktuální pro rok 2007.

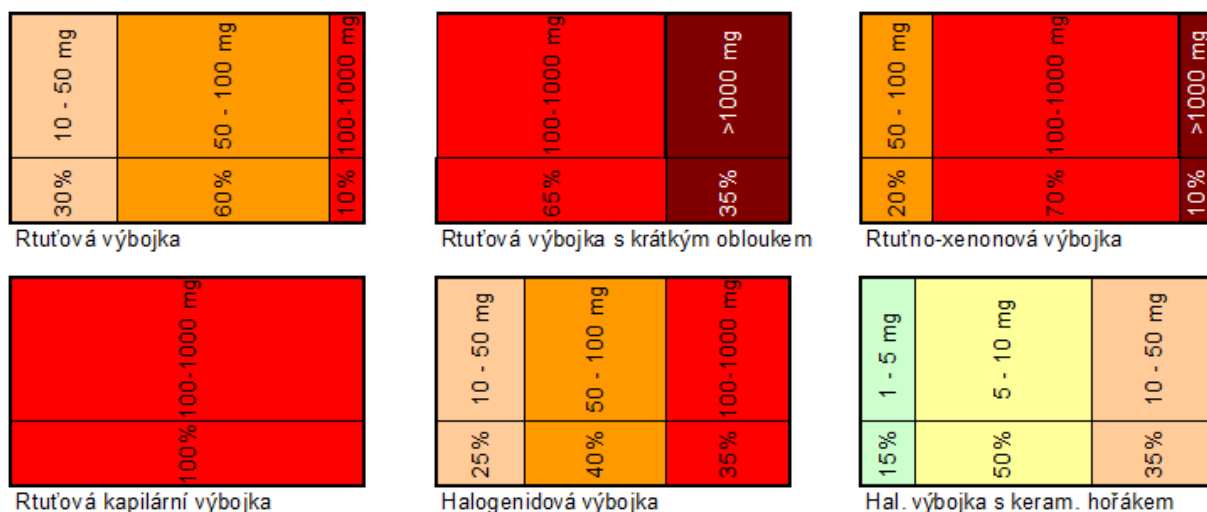


Obr. 2-41 Obsah rtuti v lineárních a kompaktních zářivkách [31].

V dnešní době jsou na trhu dostupné kompaktní zářivky s obsahem rtuti okolo 1 mg. Průměrná kompaktní zářivka v roce 2011 obsahovala okolo 3,2 mg rtuti, nicméně při jejím provozu bylo při výrobě elektrické energie uvolněno do vzduchu až 4,51 mg emisí rtuti. Směrnici Evropského parlamentu a Rady 2002/95/EC bylo sníženo maximálního limitu obsahu rtuti pro kompaktní zářivky pro rok 2010 na 5 mg, pro rok 2012 na 3,5 mg a po roce 2013 má být maximální hodnota rtuti v kompaktních zářivkách max. 2,5 mg. V celé EU bylo v roce 2007 prodáno okolo 350 miliónů kusů zářivek, ale pouze okolo 20 % z nich lidé odevzdali k recyklaci. Postupně se sice situace zlepšuje, nicméně i dnes (konec roku 2013) je v ČR předpoklad recyklace kolem 40 % světelných zdrojů s obsahem rtuti.

2.3.5.C Vliv vysokotlakých výbojových světelných zdrojů na životní prostředí

Podobně jako u nízkotlakých rtuťových výbojek je při výrobě těchto zdrojů používána rtuť, nicméně pro dosažení vyšších provozních tlaků je obsah rtuti řádově vyšší. Některé zdroje ji mohou obsahovat dokonce i okolo jednoho gramu. Rtuť obsahují naprosto všechny vysokotlakové světelné zdroje, samozřejmě některé pouze malé množství, jenž se uplatňuje v startovací fázi. Obrázek 2-42 znázorňuje procentuální počet prodaných kusů vysokotlakých výbojových zdrojů v 2008 vzhledem k jejich obsahu rtuti. Obsah rtuti je ve srovnání s nízkotlakými zdroji i o několik řádů vyšší, nicméně počet prodaných kusů je výrazně nižší, takže nepředstavují zase takové riziko pro životní prostředí. Navíc jejich použití je především v pouličním osvětlení, osvětlení exteriérů a velkých hal. Takže jimi nemanipulují běžní spotřebitelé, ale firmy, které je odevzdávají k recyklaci až v 90 % případech [31].



Obr. 2-42 Obsah rtuti ve vysokotlakých výbojkách [31].

2.3.5.D Vliv světelných diod na životní prostředí

Světelné diody jsou na první pohled ekologickým řešením světelných zdrojů, mají nízkou spotřebu elektrické energie – vysokou účinnost, jsou malého rozměru, zapouzdřené a hermeticky uzavřené. Pokud se na ně podíváme z jiné stránky, tak se z pohledu ekologické zátěže příliš neliší od zdrojů výbojových.

Těžba potřebných surovin na výrobu substrátu čipu a luminoforu je energeticky velmi náročná a značně nešetrná k životnímu prostředí. Většina materiálů, především prvků vzácných zemin se získává chemickou cestou. Na těžbu a zpracování má monopol opět Čína. Dnes nejčastěji používané materiály substrátu AlGaInP, InGaN, GaN, AlGaP nejsou pro životní prostředí toxické a především díky pevnými chemickým vazbám nedochází k jejich dalšímu uvolňování a ani se nepodílí na ovlivňování chemických procesů v půdě působením půdních bakterií. Nicméně z pohledu toxicity jsou více významné materiály ještě dnes často používané, i když v omezeném množství. Jedná se především o GaAs, AlGaAs, GaAsP, GaP, InP. A především GaAs je považován za silný karcinogen, částečně rozpustný ve vodě. InP je také považován za karcinogen a historicky starší používané materiály na bázi kadmia CdTe a CdCl jsou považovány za prudký jed se silnými akumulacími vlastnostmi. Při přípravě materiálu substrátu na bázi arzenu je často používán plyn arsan nebo arzenovodík AsH₃, který je také silným karcinogenem a při vyšších koncentracích způsobuje selhávání jednotlivých orgánů v těle. Těžba prvků vzácných zemin převážně používaných na výrobu luminoforů je koncentrována převážně v Číně, kde se těchto materiálů ročně vytěží přes 90 kt. I když nejčastěji používané prvky cer a europium jsou považovány za neškodné látky, yttrium je středně toxické [31].

Při konečné fázi života je třeba se světelnými diodami zacházet jako s toxickým odpadem, takže svítidla vybavená světelnými diodami nepatří do běžného komunálního odpadu. Je to také z důvodu překročení pro životní prostředí nebezpečných sledovaných složek. Od bezpečného odpadu je obsah těchto toxických materiálů překročen i o stovky procent. Příkladem je osminásobné překročení obsahu olova, jelikož jsou stále běžně používány olovnaté pájky. Dále pak 2,5 násobné překročení obsahu niklu a 1,5 násobné překročení obsahu mědi [31].

2.3.5.E Parametry popisující vliv komponentů pro osvětlování na životní prostředí

Při výrobě, použití a následné recyklaci světelných zdrojů a dalších komponentů potřebných pro osvětlování unikají do životního prostředí nejen těžké kovy, například již vícekrát zmíněná rtuť.

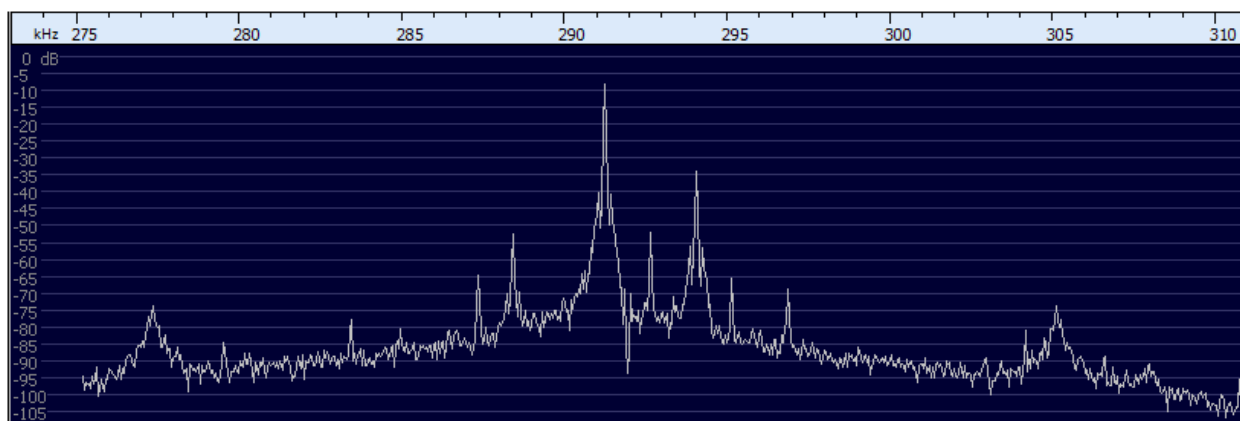
Ale také výrobou potřebných energií vznikají plynné emise síry a jejích oxidů, oxidů dusíku a skleníkových plynů, především oxidu uhličitého, metanu, amoniaku a vodních par. Díky energetickým štítkům nových světelných zdrojů má mít uživatel představu, kolik elektrické energie spotřebuje konkrétní světelný zdroj za celý svůj život. Při znalosti míry emisí skleníkových plynů, většinou udávaných na vyrobenou MWh nebo GWh a emisí toxických látek, je možné vyjádřit míru zátěže životního prostředí při provozu konkrétního světelného zdroje. S jistou přesností je možné taktéž stanovit míru znečištění čisté vody při těžbě surovin a výrobě zdrojů. Také je možné přibližně vyjádřit objem znečištěné zeminy a plochu kontaminované půdy.

Toto jsou hodnoty, které by měly být uváděny jako katalogové údaje každého světelného zdroje, případně všech komponentů určených pro osvětlování z pohledu posouzení jejich vlivu na životní prostředí. Následným porovnáním by poté bylo možné určit k životnímu prostředí nejšetrnější řešení.

2.3.6 Elektromagnetická kompatibilita světelných zdrojů a svítidel - EMC

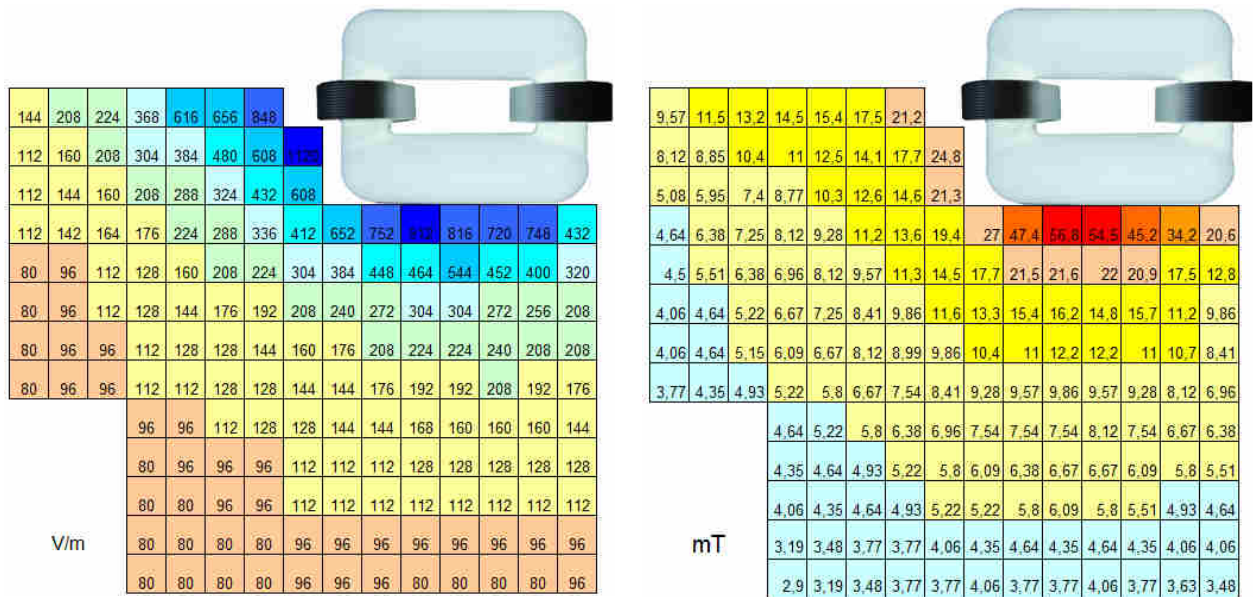
Světelné zdroje a svítidla, stejně jako jakákoliv jiná elektronická zařízení, produkují při svém provozu elektromagnetické pole. Elektromagnetická kompatibilita se zabývá reakcí elektrospotřebičů na rušení, které k nim přichází z okolí a také tvorbě rušení vlastním provozem. A především světelné zdroje indukční a třeba i sirné výbojky produkují řádově vyšší hodnoty intenzity elektrického pole a magnetické indukce než světelné zdroje ostatní.

Zpravidla se měří spektrum a intenzita produkovaného elektromagnetického záření elektronických spotřebičů. Spektrum a jeho vyhodnocení je možné provádět pomocí vhodných spektrálních analyzátorů nebo za pomoci změřeného časového průběhu daných veličin s následnou FFT. Příklad naměřeného spektra je uveden na následujícím grafu na *Obrázku 2-43*, který znázorňuje produkované spektrum elektromagnetického záření u indukční zářivky plošného provedení s příkonem 40 W a jmenovitou provozní frekvencí 250 kHz. Naměřená provozní frekvence je přibližně 291 kHz [32].



Obr. 2-43 Spektrum elektromagnetického záření produkované indukční výbojkou plošného provedení 40W S-40/RR [32].

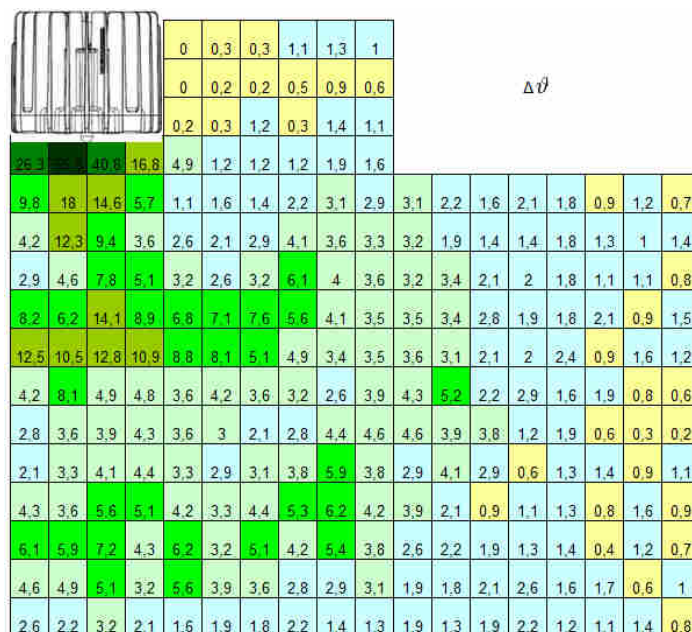
Dále pak je možné měřit jednotlivé složky elektromagnetického záření. Nejčastěji uváděnou veličinou elektrického pole je intenzita elektrického pole. Veličina se značí E a jednotkou je $V \cdot m^{-1}$. A veličinou, jež popisuje pole magnetické, je magnetické indukce, značená B a jednotkou je T. Pro příklad distribuce elektrické a magnetické složky v okolí indukčních zářivek slouží *Obrázek 2-44* a *Obrázek 2-45*, kde je graficky znázorněna. Distribuce obou polí je plošně změřena v rovině poloviny výšky světelného zdroje s roztečí jednotlivých bodů 25 mm.



Obr. 2-44 Distribuce elektrického a magnetické pole v okolí indukční zářivky 40W S-40/RR [32].



Obr. 2-45 Distribuce elektrického a magnetické pole v okolí indukční zářivky BLJDY-135 [32].



Obr. 2-46 Distribuce elektromagnetického pole v okolí sítě výbojky LiFi 300 W [32].

Možnosti běžných spektrálních analyzátorů, měřičů magnetické indukce a intenzity elektrického pole jsou frekvenčně značně omezeny. Například sirmá výbojka Lifi má provozní frekvenci 900 MHz, při které je již značně obtížné měřit dané veličiny. Je ale možné využít tepelných vlastností produkovaného mikrovlnného záření. V kovových a elektricky vodivých materiálech částečně dochází k absorpci toho záření. A měřením oteplení aktivní části měřicí sondy lze snadno a s určitou přesností zjistit relativní intenzitu záření v daném místě. Na *Obrázku 2-46* je graficky znázorněna distribuce elektromagnetického pole v okolí sirmé výbojky Luxim Lifi 300 W, jejíž reálný činný příkon je 298 W a pracovní frekvence 876 MHz. Jednotlivé body jsou od sebe na grafu vzdálené 25 mm a vyjadřují míru oteplení ve °C oproti teplotě okolí 25,6 °C. Na grafu jsou viditelné kmitny vytvořené stojatým vlněním. Kmitny jsou vzájemně vzdálené $\lambda/2$ daného záření, tedy zhruba 170 mm.

2.4 Dynamické parametry světelných zdrojů

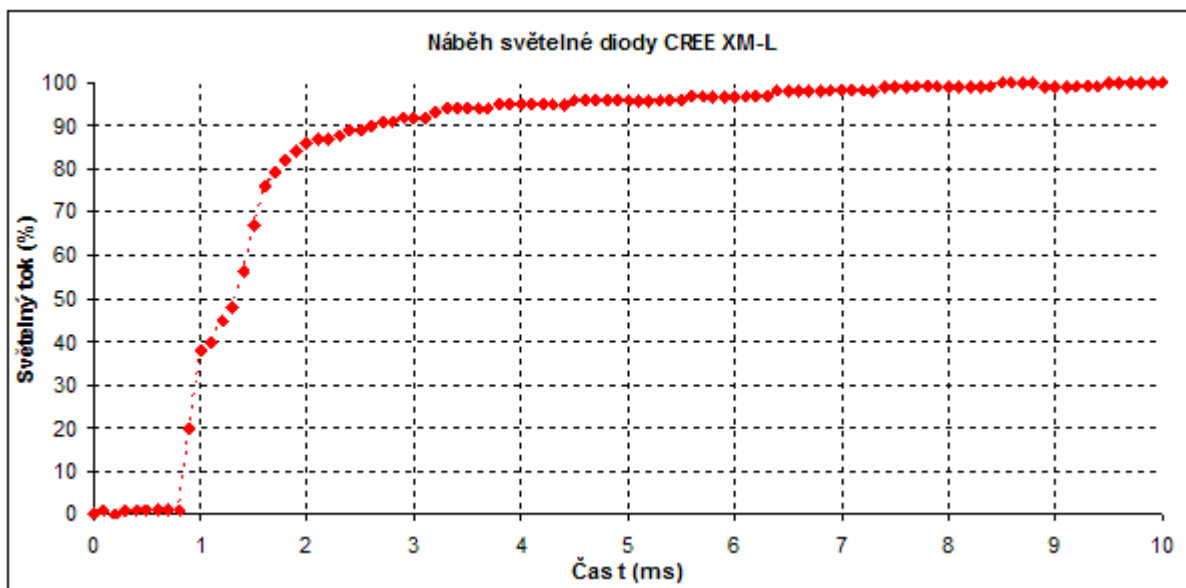
Kromě v čase neměnných nebo průměrnou či efektivní hodnotou vyčíslitelných parametrů světelných zdrojů je možné popsat i parametry v čase proměnné, které nazýváme „parametry dynamické“. Jedná se především o proměnné hodnoty provozních parametrů, u světelných zdrojů probíhajících od jejich připojení k elektrické energii až po dosažení stavu ustáleného (stabilního). Případně do této kategorie parametrů patří změny provozních parametrů světelných zdrojů způsobených změnou napájecích parametrů sítě, vnějších vlivů nebo změnou polohy.

2.4.1 Náběh světelných zdrojů

Je definován jako doba potřebná pro uvedení zdroje do ustáleného stabilního stavu od jeho zapnutí. Někdy také od zapnutí světelného zdroje po dosažení 90 % jeho jmenovitého světelného toku. Nejsnadněji se tedy určí právě měřením časového průběhu světelného toku generovaného zdrojem, případně měřením napájecích veličin a odebraným příkonem. Rychlost náběhu se u jednotlivých typů světelných zdrojů významně liší.

2.4.1.A Náběh světelných diod

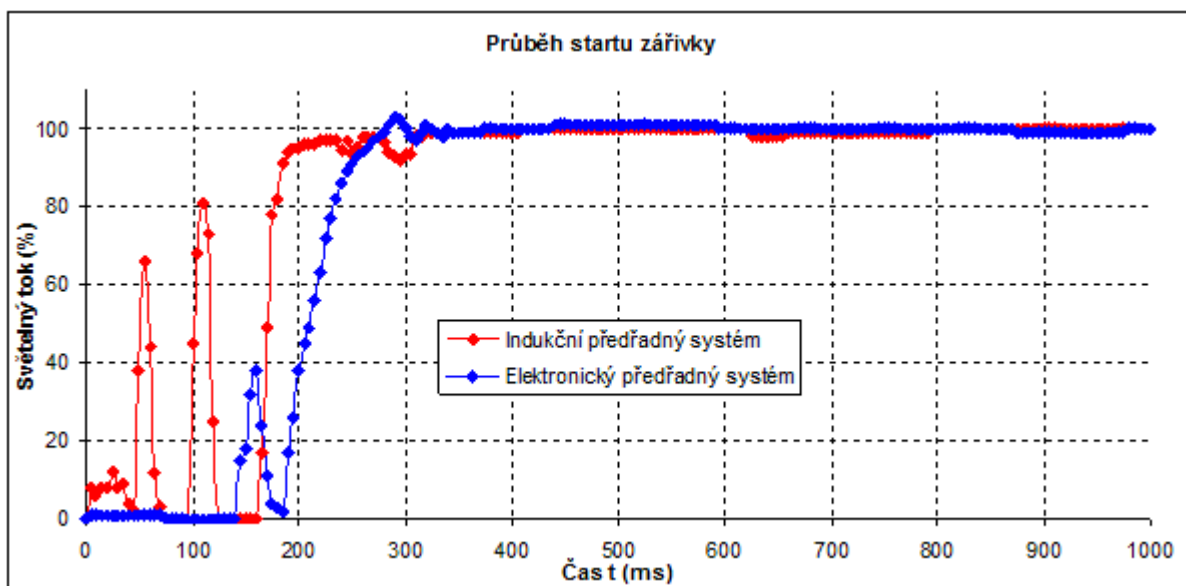
Nejrychlejší dobu náběhu mají světelné diody, jejichž rychlost je zpravidla dána rychlostí startu a rozběhu jejich napájecího zdroje – předřadného systému. U světelných diod přímo vyzařujících bez použitého luminoforu je v závislosti na materiálu substrátu a jmenovitém výkonu doba náběhu v řádu jednotek ns až μ s. Světelné diody s luminoforem mají díky setrvačnosti luminoforu tento čas prodloužen na řádově jednotky ms. Nicméně pokud budeme uvažovat rychlost náběhu u svítidla vybaveného světelnými diodami, je problematika náběhu trochu složitější. Kvůli značné závislosti provozních parametrů světelné diody na teplotě PN přechodu dochází u diod ve svítidle k postupnému zvyšování teploty až do ustáleného stavu. Samotný náběh, většinou do hodnoty světelného toku vyšší hodnoty než ustálená jmenovitá, probíhá velmi rychle. Tato rychlost je dána především možnostmi napájecího zdroje dodat potřebný napájecí proud. Samotný náběh světelné diody je většinou o několik řádů rychlejší, takže v tomto případě je neměřitelný a můžeme jej zanedbat. Nicméně postupným zahříváním svítidla vlivem Joulových ztrát, hlavně na světelných zdrojích a předřadných systémech, dochází také k postupnému zahřívání světelných diod a poklesu jimi produkovaného světelného toku. Tím je i částečně ovlivněn příkon diody a předřadného systému, což má za následek nižší ztráty. Vše je také závislé na vzájemném ovlivňování přestupu tepla mezi světelným zdrojem, předřadným systémem a okolím. Matematicky lze simulacemi dojít k ustáleným provozním parametrům svítidla pouze iteracemi v několika krocích.



Obr. 2-47 Náběh světelného toku u světelné diody CREE XM-L.

Doba mezi přivedením energie do svítidla a ustálením provozních parametrů může být v rozsahu několika desítek minut až jednotek hodin. Tato soustava je také značně citlivá na jakoukoliv změnu síťových napájecích parametrů, změnu teploty, relativní vlhkosti, či proudění vzduchu v okolí svítidla. Navíc díky částečnému přenosu tepla prouděním je takové svítidlo do jisté míry závislé na změně polohy. Příklad náběhu světelného toku světelné diody CREE XM-L napájené předřadným systémem Mean Well HLG-240H-48B je uveden na *Obrázku 2-47*. Čas pro dosažení poměrné hodnoty světelného toku 90 % je přibližně 2,5 ms.

2.4.1.B Náběh nízkotlakých výbojových zdrojů

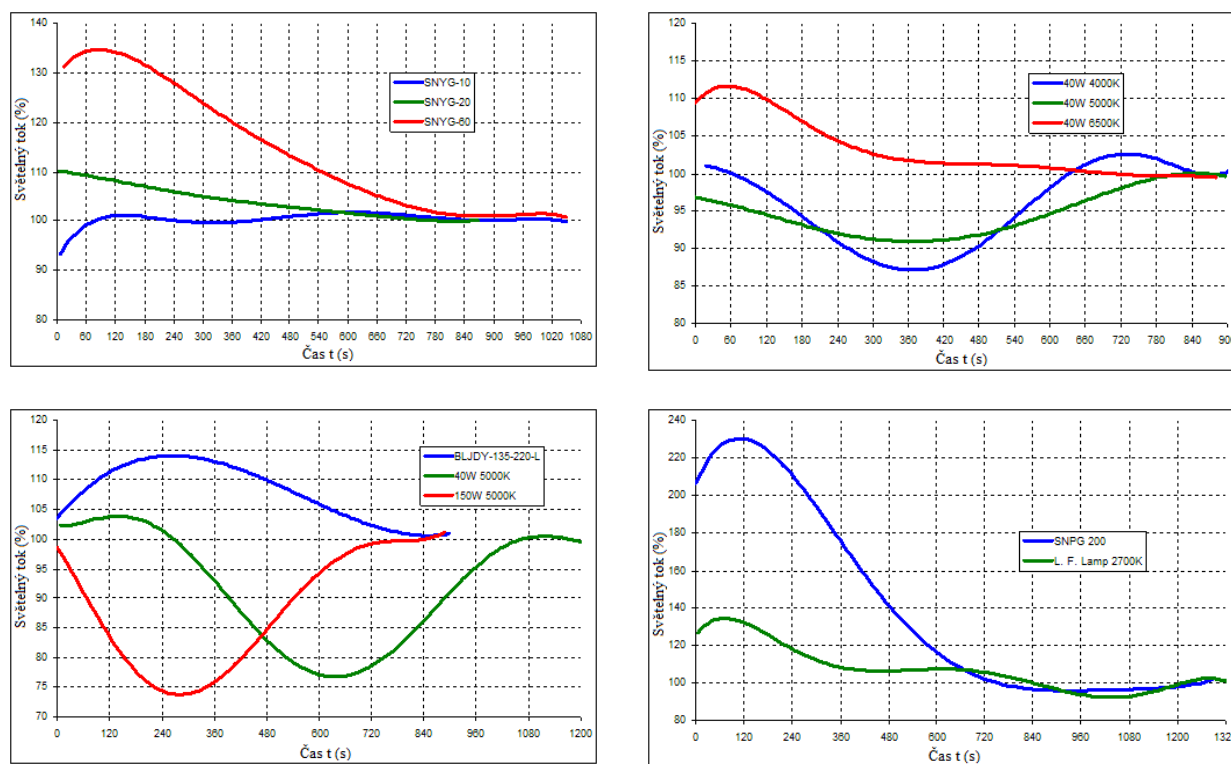


Obr. 2-48 Průběh startu lineární zářivky OSRAM Lumilux T8 18W/830 při použití indukčního a elektronického předřadného systému.

Zářivky jsou napájeny z indukčních nebo elektronických předřadných systémů. Až na výjimku indukčních zářivek všechna provedení (lineární i kompaktní) vyžadují před svým startem provedení ohřevu žhavicích vláken, což zpravidla trvá několik stovek ms. Poté už následuje start, který se dle provedení zářivkové trubice a typu předřadného systému liší. Pro

porovnání byly použity stejné zářivkové trubice OSRAM Lumilux T8 18W/830 s klasickým indukčním elektromagnetickým předřadným systémem (tlumivka 18 W, startér Osram) a elektronickým předřadným systémem OSRAM QT_i 18DIM. Výsledek rozdílného průběhu startu je znázorněn na *Obrázku 2-48*.

Kvůli ustálení především provozní teploty předřadných napájecích systémů a také teploty luminoforu zářivkových trubic dochází ke značnému kolísání světelného toku v průběhu několika minut, či desítek minut. Příkladem jsou grafy náběhu světelného toku naměřené u indukčních zářivek znázorněné na *Obrázku 2-49*. U některých zde uvedených zářivek je integrován předřadný systém uvnitř světelného zdroje, u jiných je proveden externě. Indukční zářivky v plošném provedení mají teplotně kompenzované předřadné systémy, které kompenzují úbytek světelného toku při startu zářivky. Naopak provedení indukčních zářivek se středovou anténou nemá realizovánu onu kompenzaci a tím pádem dochází k značnému rozkmitu světelného toku až do okamžiku ustálení.



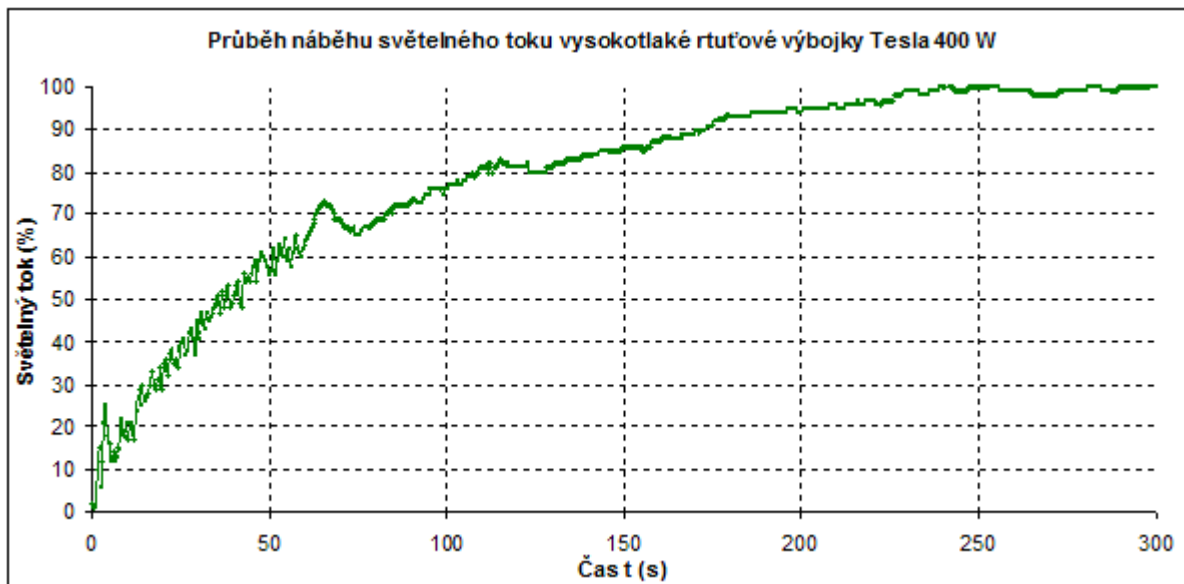
Obr. 2-49 Náběh světelného toku u indukčních zářivek [19].

2.4.1.C Náběh vysokotlakých výbojových zdrojů

Start vysokotlakých výbojových zdrojů je na rozdíl od zdrojů nízkotlakých doprovázen změnou a do jisté míry i nestabilitou všech provozních parametrů. Světelně-technické parametry jsou především závislé na hodnotě tlaku a teploty uvnitř prostoru hořáku a s tím související aktivací jednotlivých chemických složek, jenž mají vliv na spektrální distribuci a výsledný světelný tok zdroje.

Z pohledu elektrických parametrů vykazuje hořák ve stavu studeném vysokou rezistivitu. Teprve při postupném zahřívání obsahu a ionizací příměsí narůstá počet nosičů náboje a rezistivita klesá. Pomocí předřadných systémů je nárůst proudu omezen a naopak dochází ke snížení napětí na výboji. Nestabilita chodu vysokotlakých výbojek je především v době startu a krátce po něm, kdy je koncentrace par kovů a koncentrace nosičů náboje v prostoru hořáku

nerovnoměrná. Tím vznikají velmi rychlá proudění vedoucí ke homogenizaci vnitřního prostoru hořáku a nastolení stabilního stavu. Z pohledu produkovaného světelného toku je tato část startu výbojky charakteristická poblikáváním a rychlým kolísáním světelného toku. Průběh startu vysokotlaké rtuťové výbojky s jmenovitým příkonem 400 W výrobce Tesla je znázorněn na Obrázku 2-50. Nestabilní část hoření je charakteristická rychlým kolísáním světelného toku zhruba v první minutě od startu výbojky.

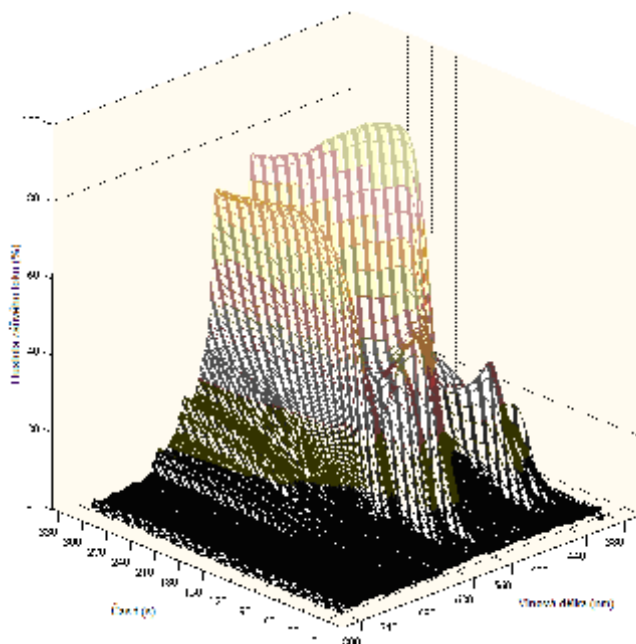


Obr. 2-50 Průběh náběhu světelného toku u rtuťové výbojky.

U vysokotlakých sodíkových a rtuťových výbojových zdrojů v počáteční fázi startu dochází především ke změně produkovaného světelného toku a změně elektrických parametrů. Nicméně v těchto výbojkách je minimum dalších chemických příměsí, jenž se postupně aktivují, proto je spektrální distribuce těchto zdrojů takřka již od počátku startu až do okamžiku ustálení neměnná.

Situace je naprosto odlišná u vysokotlakých výbojových zdrojů s velkým množstvím aktivačních příměsí, jakými jsou například halogenidové výbojky, xenonové výbojky, výbojky s krátkým obloukem a výbojky sirné. Takřka bez výjimky je startovacím plynem u těchto výbojek rtuť a její páry. Proto je spektrální distribuce v počáteční fázi startu u těchto světelných zdrojů totožná s vysokotlakými rtuťovými výbojkami. Jde především o zelenou a modrou část spektra. Teprve postupem času jsou aktivovány příměsí obohacující produkované spektrum o žlutou a oranžovou část spektra a nejpozději příměsí červené části spektra.

Zajímavostí je také pokles produkce světelného toku v oblasti modré a zelené při stále se zvyšujícím vnitřním tlaku hořáku výbojky. Běžně katalogově uváděnou spektrální distribucí je spektrum za ustáleného provozního stavu, napájeného stabilním jmenovitým napětím a výbojka je umístěna v pracovní poloze 0° . Bohužel v praxi je provoz výbojových zdrojů ovlivněn nejrůznějšími vnějšími vlivy, do kterých může být zahrnuto proudění vzduchu kolem zdroje, teplota, tlak a relativní vlhkost okolního plynného prostředí. Proto je vhodné znát chování výbojových zdrojů i v těchto podmínkách. Příklad náběhu halogenidové výbojky OSRAM MH 400 W se znázorněným vývojem spektrální distribuce v trojrozměrném grafu je uveden na Obrázku 2-51.



Obr. 2-51 Náběh halogenidové výbojky s vývojem spektrální distribuce.

Především změna napájecích parametrů, pokles nebo zvýšení napětí v napájecí síti, nemusí mít u těchto výbojových zdrojů dopad pouze změnu produkovaného světelného toku, ale také i na spektrum. Vlivem sníženého příkonu dochází k rychlému poklesu teploty a tlaku uvnitř hořáku a tím ke změně především světelně-technických parametrů. Zejména dochází k poklesu světelného toku v oblasti delších vlnových délek, což má za následek pokles kvalitativních parametrů výbojky, jako například snížení hodnoty indexu podání barev nebo zvýšení náhradní teploty chromatičnosti. Stejných změn je dosahováno, pokud je předřadný systém světelného zdroje vybaven regulací výkonu. U běžných vysokotlakých výbojových zdrojů předřadníků s regulací využíváno příliš není. Výjimku tvoří pouliční osvětlení, kde se především za účelem úspor v nočních hodinách snižuje napájecí napětí pomocí autotransformátorů a nebo elektronický regulátorů napětí. U dnes používaných vysokotlakých sodíkových zdrojů je za těchto podmínek ovlivnění spektrální distribuce minimální. K ovlivnění by docházelo, pokud by svítidla byla vybavena halogenidovými výbojkami. Dále pak některé provedení siričkových výbojek umožňuje regulaci výkonu, nicméně i zde dochází se změnou příkonu ke značné změně v produkovaném světelném spektru. A například náhradní teplota chromatičnosti u siričkové výbojky Lifi 300 W při sníženém příkonu na 50 % jmenovité hodnoty způsobí zvýšení z původních přibližně 5 000 K na 20 000 K.

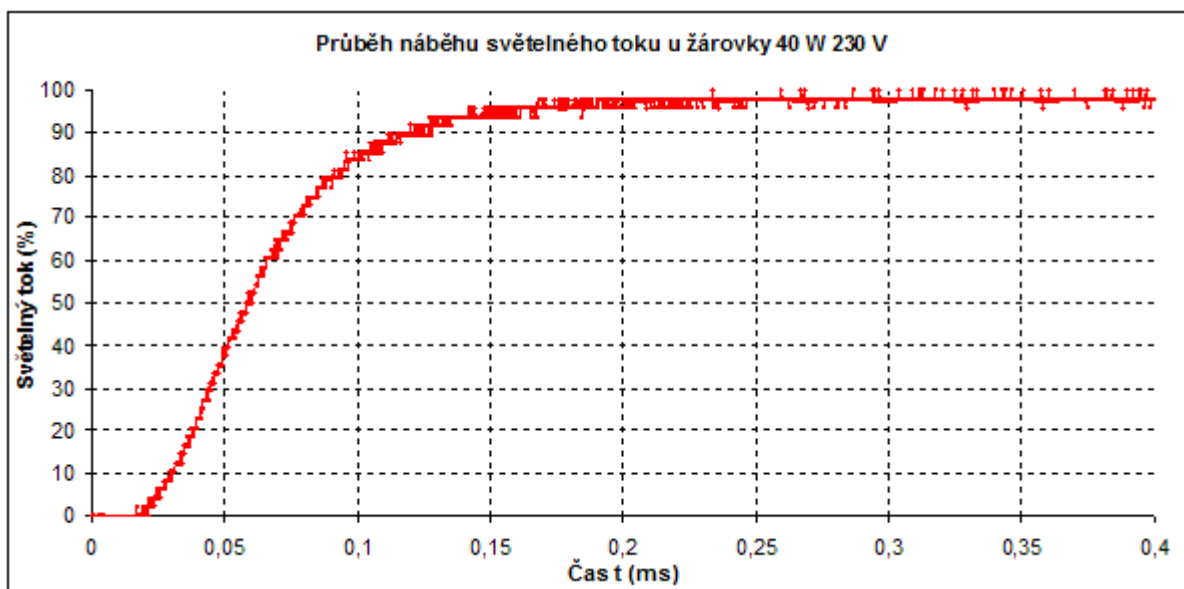
Nebezpečím pro světelné zdroje při nestabilních podmínkách hoření výboje může být také vznik mechanické rezonance. Nejohroženější tímto problémem jsou xenonové výbojky a výbojky s krátkým obloukem, kde jednotlivé mechanické části mohou mít rezonanční frekvenci shodnou s frekvencí a rázy nestabilního hoření. Vysoký provozní vnitřní tlak v hořáku může při překročení pevnosti a hermetičnosti způsobit destrukci celé výbojky a blízkého okolí. Proto jsou tyto výbojky realizovány s ochranou a jejich provoz je monitorován, aby k takovým stavům nemohlo dojít.

2.4.1.D Náběh u teplotních světelných zdrojů

Produkce světelného toku u teplotních světelných zdrojů je úměrná teplotě vlákna, takže přímo odráží velikost napájecího napětí. Nicméně start těchto zdrojů není okamžitý. Vlivem tepelné setrvačnosti s omezeným přísunem energie do žárovky má počáteční průběh růstu teploty vlákna

žárovky exponenciální charakter. V závislosti na velikosti světelného zdroje a jeho jmenovitého příkonu náběh trvá od desítek do stovek ms, v některých případech až po jednotky s. Příkladem náběhu světelného toku u žárovky 40 W / 230 V je znázorněn na *Obrázku 2-52*.

V případě napájení světelných zdrojů z napěťových zdrojů je start zpravidla velmi rychlý. Proud ze sítě je dostupný v podstatě bez omezení. A pokud je k napájení žárovek využit transformátor, je proudové omezení dáno reaktancí transformátoru. Teplotní zdroje mají se studeným vláknem nízkou hodnotu odporu, při zahřátí vlákna na provozní teplotu se rezistivita materiálu pět až dvacetkrát zvyšuje. Velikost odebíraného proudu žárovkou je tedy pěti až dvaceti násobkem jmenovité hodnoty a také okamžitý příkon zdroje je pět až dvacetkrát vyšší. Proto je start těchto zdrojů při napájení z napěťových zdrojů tak rychlý. Rozdíl je patrný při napájení teplotních světelných zdrojů zdrojem proudu. Tento způsob napájení žárovek není v praxi příliš rozšířen, nicméně zabraňuje přetěžování v počáteční fázi startu žárovky. Životnost a spolehlivost zdroje se tímto způsobem může značně prodloužit. Negativním dopadem je snížená rychlost náběhu světelného toku, která se může protáhnout až na jednotky sekund i u menších teplotních světelných zdrojů.



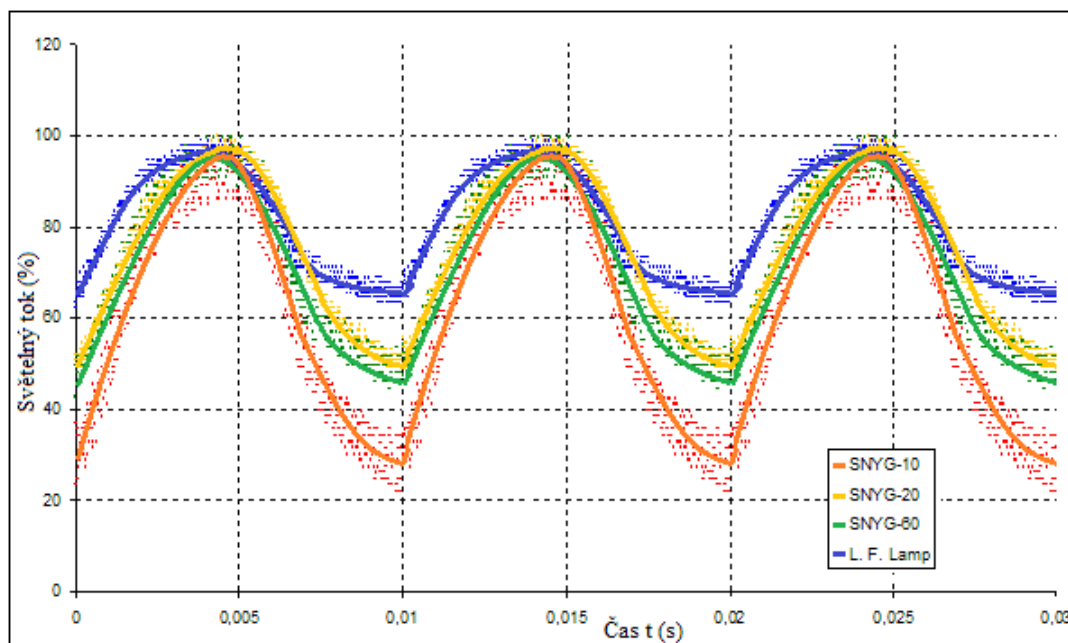
Obr. 2-52 Náběh světelného toku u běžné žárovky 40 W / 230 V.

2.4.2 Stálost osvětlení, kolísání světelného toku, míhání

Příkon jednofázově napájených světelných zdrojů v čase kolísá dvojnásobkem síťové frekvence, tedy 100 Hz. U zdrojů teplotních a výbojových dochází k jisté setrvačnosti a časovému zpoždění produkovaného světelného toku vlivem tepelné setrvačnosti vlákna u teplotních zdrojů a plynů v hořáku u zdrojů výbojových.

U nízkotlakých zdrojů výbojových a vysokotlaké výbojky se také musí počítat se setrvačností luminoforu. Světelné diody takřka bez pozorovatelného zpoždění produkují světelný tok v závislosti na procházejícím proudu. Opět zpoždění a setrvačnost nastává, jsou-li vybaveny luminoforem. Samozřejmě se zde také projevuje stabilizační vliv napájecích zdrojů, kde díky vyhlazovacímu kondezátoru ve vstupních napájecích obvodech předřadného systému nedochází k poklesu napájecího proudu až na nulovou hodnotu. Míra poklesu je tedy závislá na stabilizačních vlastnostech napájecího zdroje a setrvačnosti luminoforu. U zdrojů bez luminoforu, napájených přímo ze sítě, je míra poklesu dána tepelnou setrvačností vlákna nebo výbojové

dráhy. Na *Obrázku 2-53* je graficky znázorněn časový průběh produkovaného světelného toku u indukčních zářivek různého provedení. Míra poklesu toku je zde především závislá na vlastnostech napájecích zdrojů.



Obr. 2-53 Časový průběh světelného toku u indukčních zářivek [19].

Kromě kolísání světelného toku a vlivu frekvence napájecího proudu se u světelných zdrojů také často objevuje rušivé kolísání způsobené přítomností harmonických a meziharmonických složek v napájecí síti superponovaných na základní harmonickou.

Náš zrakový vjem má určitou setrvačnost. Pokud se světelný podnět periodicky opakuje, bývá vnímán jako přerušovaný (kolísavý) pouze do určité frekvence. Mezní frekvence, při které již zrak průměrného jedince vnímá přerušovaně svítící světelný zdroj jako soustavně svítící, se nazývá frekvence splývání f_s . Výsledné vnímání jasu takového zdroje je pak aritmetickým průměrem periodicky se měnících intenzit. Tento jev se nazývá Talbotův zákon a danou frekvenci splývání můžeme popsat následujícím vztahem (2-14) [7].

$$f_s = a \cdot \log L + b, \quad (2-14)$$

- kde
- f_s frekvence splývání,
 - L jas podnětu v rozsahu 2 až 300 $\text{cd} \cdot \text{m}^{-2}$,
 - a konstanta s hodnotou 12 Hz,
 - b konstanta s hodnotou 33 Hz.

Frekvence splývání je tedy závislá na jasu podnětu a se vzrůstajícím jasem stoupá. Dále častým používaným pojmem v této oblasti je tzv. mihání. Jedná se o dojem nestálosti zrakového vjemu vlivem nestálosti jasu nebo spektrální distribuce světelného zdroje. Souvisejícím efektem je i stroboskopický jev, při kterém může docházet ke změně vnímání točivých a rychle se pohybujících mechanických částí strojů.

Stálost světelného toku můžeme pospat pomocí dvou veličin. Omezíme-li se na harmonický průběh světelného toku v jedné periodě, můžeme k popisu kolísání světelného toku použít činitel vlnivosti světla k_f , jenž je možné matematicky zapsat pomocí vztahu (2-15) [6].

$$k_f = \frac{\Phi_{\max} - \Phi_{\min}}{\Phi_{\max} + \Phi_{\min}}, \quad (2-15)$$

kde Φ_{\max} , Φ_{\min} minimum a maximum amplitudy světelného toku.

Nicméně při různých a převážně neharmonických tvarech časového průběhu světelného toku v jedné periodě je přesnější využití druhé veličiny – indexu míhání, někdy také nazývaném jako „flicker index“. Pro jeho matematické vyjádření je možné použít vztah (2-16) [6].

$$f = \frac{A_1}{A_1 + A_2} = \frac{A_1}{T \cdot \Phi_{stř}}, \quad (2-16)$$

kde $\Phi_{stř}$ střední hodnota časové změny toku $\Phi(t)$,

A_1 plocha nad střední hodnotou $\Phi_{stř}$,

A_2 plocha pod střední hodnotou $\Phi_{stř}$,

T perioda.

Střední hodnotu časové změny toku $\Phi_{stř}$ lze vyjádřit za pomoci vztahu (2-17) [6].

$$\Phi_{stř} = \frac{1}{T} \int_0^T \Phi(t) dt. \quad (2-17)$$

Ukázkové hodnoty indexu míhání f a činitele vlnitosti k_f u vybraných zástupců světelných zdrojů jsou uvedeny v *Tabulce 2-23*.

Tab. 2-23 Index míhání a činitel vlnitosti u světelných zdrojů [20].

Světelný zdroj	Činitel vlnivosti světla k_f (%)	Index míhání f (-)
Žárovka 40 W	12	0,047
Žárovka 60 W	7	0,027
Žárovka 100 W	5	0,009
Lin. zářivka (teplá 3000 K)	27	0,077
Lin. zářivka (denní 4000 K)	58	0,152
Lin. zářivka (chladná 5000 K)	44	0,117
VT rtuťová výbojka s lum.	73	0,25
VT halogenidová výbojka	38	0,11
VT sodíková výbojka	95	0,29

2.4.3 Změna provozních parametrů světelných zdrojů v závislosti na poloze

Změnou polohy světelného zdroje, resp. celého svítidla se do jisté míry mění sdílení tepla prouděním, ale i procesy uvnitř světelného zdroje. Z tohoto důvodu každý světelný zdroj má závislost svých provozních parametrů na změně polohy, i když u zdrojů teplotních a luminiscenčních je to změna zanedbatelná a ve většině případů neměřitelná. Nicméně nejvíce změna polohy ovlivňuje provozní parametry zdrojů výbojových.

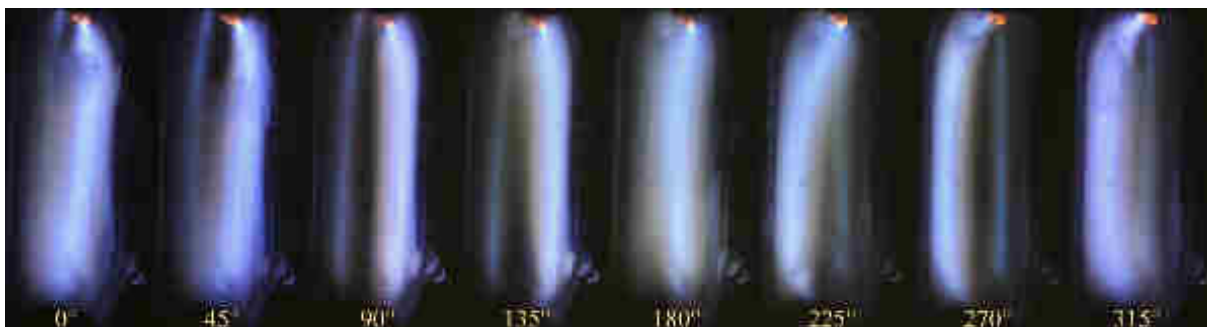
2.4.3.A Změna provozních parametrů u nízkotlakých výbojek v závislosti na poloze

U nízkotlakých výbojových zdrojů – zářivek dochází při změně polohy k ovlivnění provozních parametrů maximálně v jednotkách procent. Optimální provoz těchto zdrojů je v poloze vodorovné (horizontální). Účinnost zářivek je značně ovlivněna teplotou luminoforu a právě v případech, kdy je světelný zdroj umístěn do svítidla, je provozní teplota zářivkových trubic

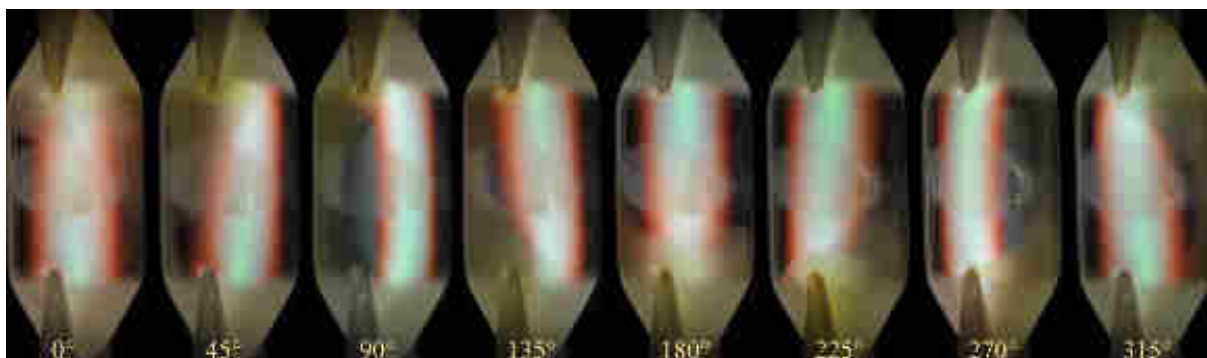
zvýšena. Při změně polohy zářivkové trubice z horizontální na vertikální dochází ke dvěma jevům, jež ovlivňují velikost dosaženého světelného toku a tím také sledovaný parametr měrný výkon. Teplo uvolněné při provozu zdroje a předřadného systému stoupá ve svítidle směrem vzhůru a tím dochází k rozdílu teplot mezi jedním koncem trubice a druhým až o 30 °C. Díky vyšší teplotě luminoforu část trubice pracuje s nižší účinností a klesá i celkový produkovaný světelný tok. Je také ovlivněn jas trubice a tím i rovnoměrnost osvětlení. Druhý jev, který snižuje účinnost světelného zdroje, se odehrává přímo v zářivkové trubici. I když je vnitřní tlak par rtuti uvnitř trubice velmi nízký, dochází k ovlivnění nosičů náboje vlivem tíhového zrychlení. Výsledkem je poté trochu vyšší koncentrace nosičů ve spodní části trubice, což má dopad na nižší pravděpodobnost vzniku zářivé rekombinace ve vrchní části trubice. Navíc s poklesem nosičů stoupá rezistivita a s tím spojené tepelné ztráty způsobené procházejícím proudem, jež ještě více přispívají k vyšší teplotě a nižší účinnosti luminoforu vrchního konce zářivkové trubice.

2.4.3.B Změna provozních parametrů u vysokotlakých výbojek v závislosti na poloze

U vysokotlakých výbojových zdrojů má závislost změny polohy na výsledné provozní parametry ještě výraznější vliv. Vysokotlaké výbojky potřebují pro svoji činnost a stabilní chod vysokou teplotu hořáku, která se může pohybovat od 300 do cca 1 600 °C. Tepelná energie se z těchto zdrojů dostává do okolí především prostřednictvím tepelné radiace, malé množství vedením přes patiči i když je snaha hořák výbojky co nejlépe tepelně izolovat od okolí například dusíkovou atmosférou nebo atmosférou z inertních plynů a vakuem. Vždy ale dochází k určitému přenosu tepla z hořáku na vnější baňku prouděním. Při zvýšeném proudění vzduchu v okolí výbojky, například při přímém vystavení výbojky povětrnostním vlivům nebo aktivnímu ofukování ventilátorem, dochází ke zvýšení odvodu tepla touto cestou. Což má za následek snížení účinnosti světelného zdroje v řádu až jednotek procent.



Obr. 2-54 Výbojová dráha halogenidové výbojky Tesla RW 400 W [33].

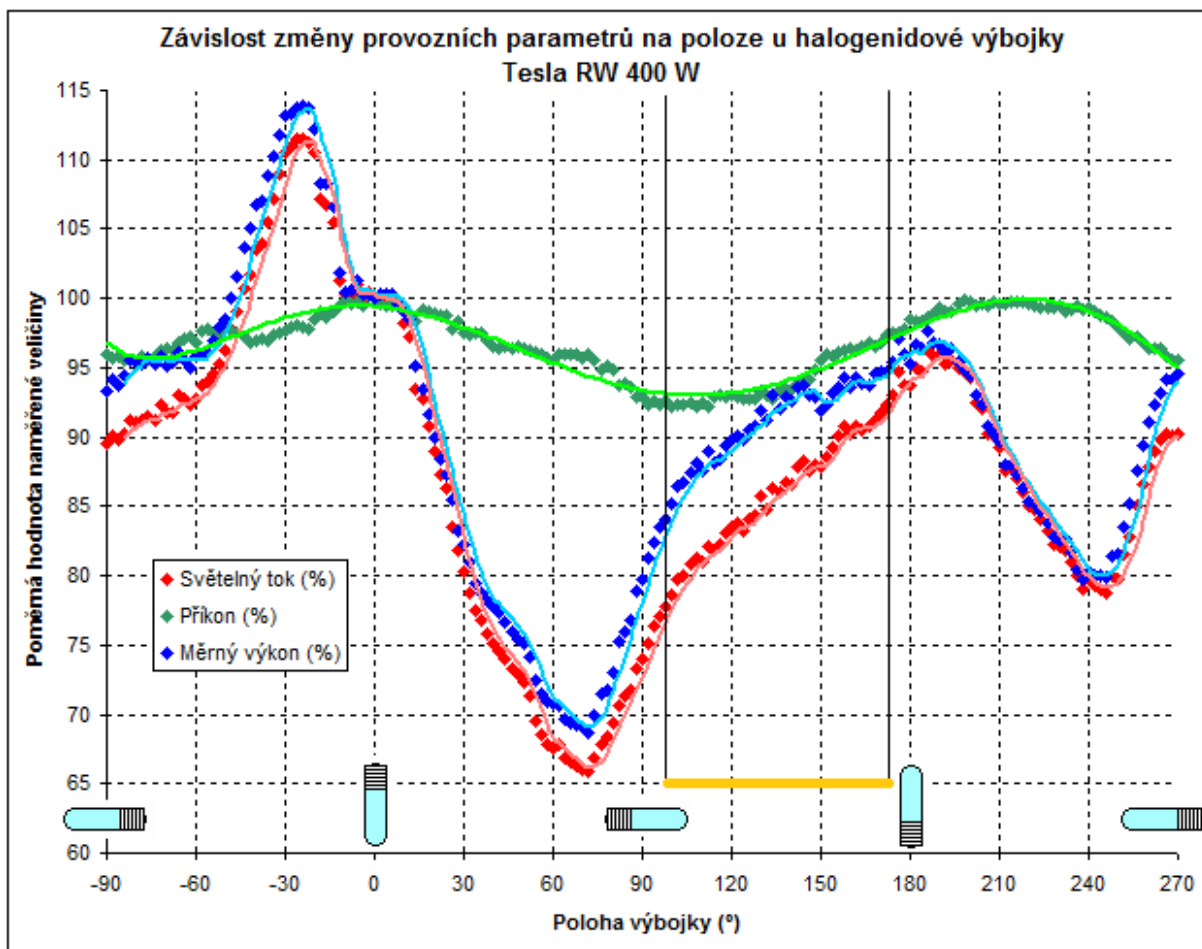


Obr. 2-55 Výbojová dráha halogenidové výbojky Osram MH 400 W [33].

Dále jsou změnou polohy nejvíce ovlivnitelné ty zdroje, které mají dlouhý hořák s velkým průměrem. U tenkých hořáků, používaných například u vysokotlakých sodíkových výbojek,

dochází k stabilizaci výboje jeho stěnou a ke změně jeho tvaru vlivem změny polohy zdroje nedochází. Podobně jsou na tom xenonové výbojky a výbojky s krátkým obloukem, u kterých díky krátké vzájemné vzdálenosti elektrod nedochází k vychylování výbojové dráhy při změně polohy. Nejcitlivějšími jsou z tohoto pohledu halogenidové a rtuťové výbojky. Poloha světelného zdroje může být označena pomocí úhlu natočení vzhledem k výchozí poloze. Výchozí poloha s označením „0°“ je polohou, při níž jsou uváděny všechny katalogové údaje těchto zdrojů. Je to poloha svislá s elektrickými přívody (paticí) směrem vzhůru. V této poloze, podobně jako v poloze 180°, je hoření výboje nejstabilnější. Tvar výbojové dráhy je přímočarý a nedochází k dotyku výboje stěny hořáku. Ztráty jsou nejmenší a vnitřní teplota i tlak nejvyšší. Naopak v extrémní horizontální poloze hořáku 90° nebo 270° dochází k nejvyšším ztrátám. Výboj je prohnut směrem vzhůru a v závislosti na tvaru hořáku se v některých případech může přímo dotýkat trubice hořáku. Fotografie hořáků při různých polohách pro halogenidové výbojky Tesla RW 400 W a Osram MH 400 W jsou znázorněny na Obrázcích 2-54 a 2-55 [33].

Vlivem prohnutí, protažení výboje a jeho dotyku se stěnou hořáku dochází k mnoha dějům, které mají ve výsledku za následek pokles účinnosti výbojky a také zhoršení kvalitativních parametrů produkovaného světla. Vlivem dotyku výboje dochází ke zvýšenému odvodu tepla výboje do okolí. Tím klesá teplota i tlak uvnitř hořáku, postupně dochází k deaktivaci příměsí a zhoršení spektrální distribuce. Vlivem nesymetrického ohřevu trubice hořáku dochází k nadměrnému pnutí a tím ke snížení života zdroje. Vliv prodloužení výbojové dráhy má dopad na celkovou rezistivitu výboje, který roste a dochází tedy ke zvýšeným ztrátám.



Obr. 2-56 Závislost změny provozních parametrů na změně polohy u hal. výbojky [33].

Celkově je problematika změny polohy výbojových zdrojů zatížena stálými nebo přechodnými stavy, kdy není činnost výbojky stabilní a dochází k rychlým dynamickým změnám provozních parametrů. Nebo také dochází ke změnám pomalým, kdy na dynamické VACH existují dva pracovní body, mezi kterými světelný zdroj putuje. Na *Obrázku 2-56* je znázorněna závislost příkonu, světelného toku a měrného výkonu v závislosti na poloze u halogenidové výbojky Osram MH 400 W. Poměrné hodnoty jsou vyneseny pro výchozí polohu 0°. Oranžovým pásem je označena oblasti nestability, jenž při měření byla charakteristická rychlou změnou provozních parametrů, někdy i velmi rychlými mechanickými rázy.

Laboratorní měření prokázala značný rozptyl provozních hodnot a to především produkovaného světelného toku, v závislosti na změně polohy, především u rtuťových a halogenových výbojek. Pokles světelného toku je největší u výbojky s označení Tesla RW 400 W, u které v extrémních případech polohy dochází k poklesu produkovaného světelného toku až o 40 % oproti výchozí poloze. Halogenidové výbojky modernějšího provedení např. Osram MH 400 W vykazují v nejhorsích případech změnu světelného toku o cca 20 % a výbojky sodíkové vysokotlaké je tato změna maximálně do 5 %.

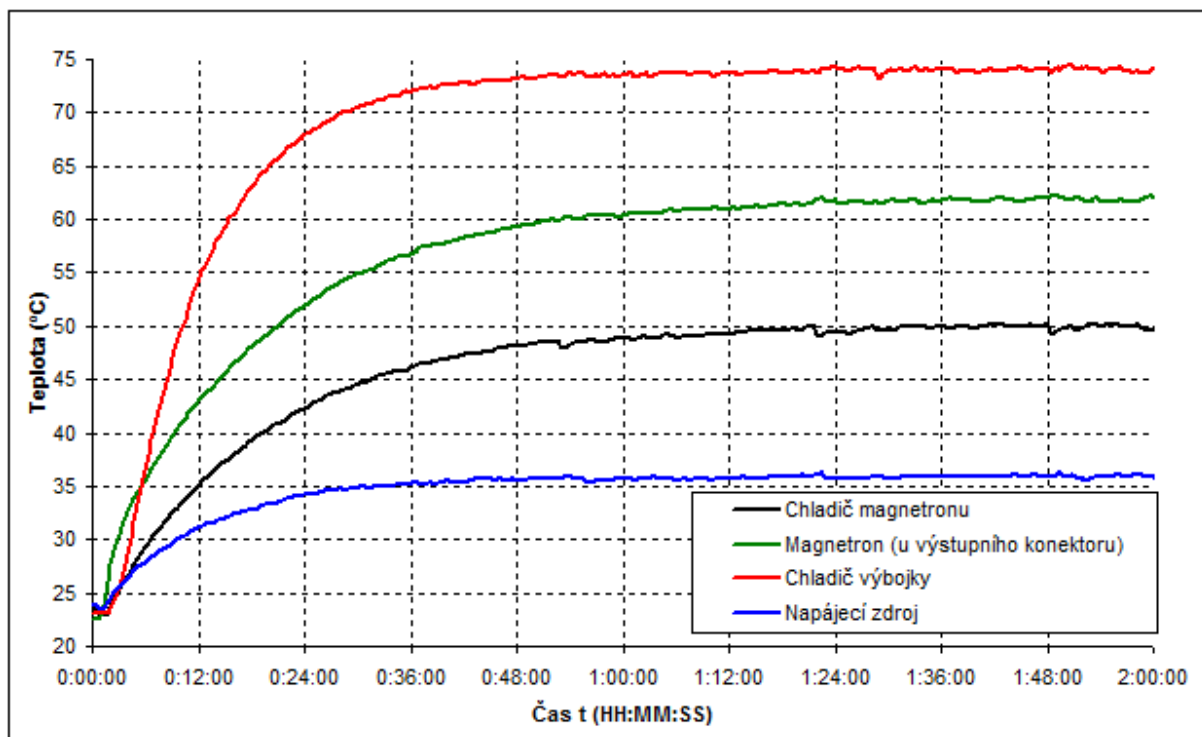
2.4.4 Vliv teploty na změnu provozních parametrů světelných zdrojů

Částečně byl již vliv teploty jednotlivých funkčních částí světelných zdrojů na jejich provozní parametry zmíněn v kapitolách předchozích, převážně pak v kapitole popisující vliv polohy na změnu provozních parametrů. Nicméně tato kapitola nahlíží na tuto problematiku trochu z jiného pohledu. Světelné zdroje již ze svého principu produkují odpadní teplo. Část je ho odvedena zářením, část okolním prouděním a část se odvede vedením do svítidla. U některých světelných zdrojů je příliš vysoká teplota na škodu a je tedy nutné zajistit dostatečný odvod tepla. Příkladem jsou světelné diody, u kterých zvýšená teplota nejenže snižuje účinnost, ale podílí se také na snížení doby života zdroje.

Další příkladem jsou zářivky všeobecně, u nichž se zvyšující se teplotou klesá účinnost luminoforu. Naopak jsou zdroje, které zvýšenou teplotu svých jednotlivých částí pro správnou funkci vyžadují. Mezi takové patří například halogenová žárovka, u které zvýšená teplota baňky umožňuje dosažení tzv. halogenového cyklu, díky kterému má tato žárovka vyšší účinnost a delší život. Dalším příkladem mohou být vysokotlaké výbojky, kde vysoké teploty hořáku umožňují dosáhnout vysokých vnitřních tlaků, tím také vysoké účinnosti a dosažení potřebných kvalitativních parametrů produkovaného světla.

Katalogově uváděným parametrem je nejvyšší ustálená teplota, při které mohou být jednotlivé funkční části svítidla resp. světelného zdroje provozovány. Jedná se především o elektronické obvody předřadných a napájecích systémů, u kterých při překročení maximální teploty dochází k rychlé degradaci, zkrácení života a snížení spolehlivosti. Jelikož ve svítidle je standardně více zdrojů odpadního tepla - jednotlivé světelné zdroje, předřadné a napájecí systémy, je velice obtížné a ve výsledku značně nepřesné, simulovat výsledné ustálené hodnoty oteplení jednotlivých sledovaných částí, protože dochází k jejich vzájemnému ovlivňování. K výsledku je poté možné dojít v několika krocích iterace. Prakticky výhodnější je provést přímé měření za předem stanovených a stabilních okolních podmínek. To znamená za stanovené polohy zdroje, teploty okolí, tlaku vzduchu, relativní vlhkosti a vnějšího nuceného proudění. Výsledkem jsou poté oteplovací charakteristiky, které znázorňují samotný vzrůst teploty v čase, čas ustálení a ustálenou teplotu. Příklad takové oteplovací charakteristiky sítě výbojky Luxim Lifi 300 W je uveden na *Obrázku 2-57*. Jedná se o čtyři oteplovací charakteristiky jednotlivých funkčních částí

zdroje. Nejvyšší ustálené teploty 74 °C dosahuje chladič výbojky, naopak nejnižší 34 °C napájecí zdroj. Značně závisí na vzájemném uspořádání jednotlivých komponentů uvnitř svítidla, jejich vzájemné ovlivňování prostřednictvím především vzniklých tepelných mostů (míst s vysokou tepelnou vodivostí). Část tepla se samozřejmě sdílí radiací a konvekcí.



Obr. 2-57 Oteplovací charakteristiky jednotlivých funkčních částí sirlé výbojky Lifi 300 W.

V dnešní době je možné měřit teploty a oteplení v čase všech opticky dostupných částech světelných zdrojů i svítidel velmi rychle a jednoduše pomocí termokamer. V současnosti jsou již dostupné ve vysokém rozlišení - minimálně VGA s teoreticky neomezeným množstvím proveditelných záznamů. To umožňuje sledovat oteplení v čase a snadným způsobem jej graficky znázornit. Příklad termosnímků svítidla vybaveného světelnými diodami je na Obrázku 2-58.

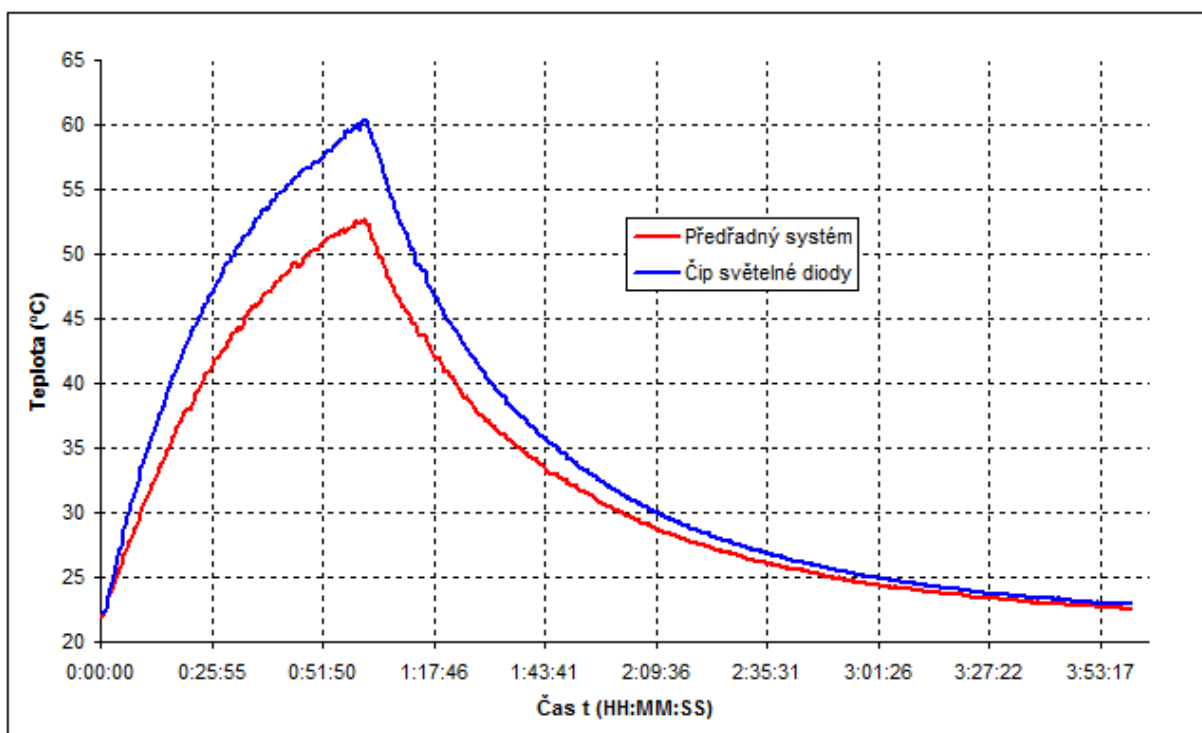


Obr. 2-58 Termosnímek svítidla vybaveného světelnými diodami.

Nicméně značnou nevýhodou použití termokamer je potřebná znalost povrchové emisivity pozorovaného materiálu ε . U většiny běžných materiálů je tato hodnota mezi 0,8 až 0,98. Většinou je automaticky nastavena hodnota 0,95. Problém nastává, je-li pozorovaným objektem matný nebo lesklý kov. U leštěného hliníku nebo mědi je hodnota emisivity pod 0,1. Navíc tyto materiály odrážejí teplo uvolněné z okolního prostředí. Takže je velmi obtížné sledovat objekt složený z rozdílných materiálů. Řešením je homogenizační postřik nebo speciální teplovodivá páska, jenž umožní dosáhnout stejné hodnoty emisivity rozdílných materiálů. Nicméně pro složité povrchové struktury a především v oblasti světelné techniky a osvětlování není tato metoda vždy vhodná.

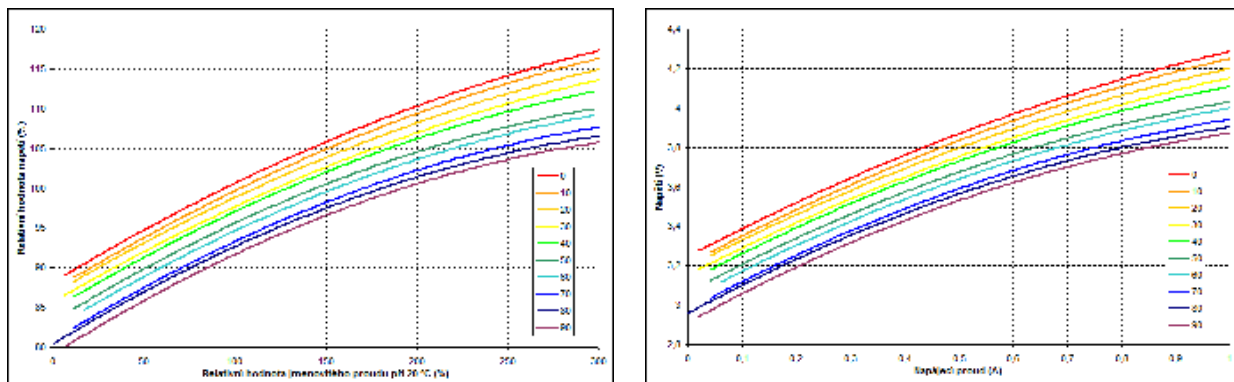
2.4.4.A Vliv teploty na změnu provozních parametrů světelných diod

Světelná dioda je ze všech světelných zdrojů nejvíce teplotou ovlivnitelná. Především se jedná o ovlivnění délky života zdroje a také jeho okamžitých provozních parametrů. Tato problematika již byla rozebrána v kapitole „2.3.1 Život světelných zdrojů“. Teplota a její vývoj v čase - oteplovací charakteristika jednoduše vypovídá o vývinu a výsledné ustálené teplotě daného komponentu světelného zdroje. Příkladem je graf oteplovací a ochlazovací charakteristiky světelné diody a předřadného systému na *Obrázku 2-59*. Ustálená hodnota teploty čipu diody je 75 °C, nicméně na grafu je zobrazena pouze část oteplování po dobu jedné hodiny a chladnutí po dobu tří hodin.



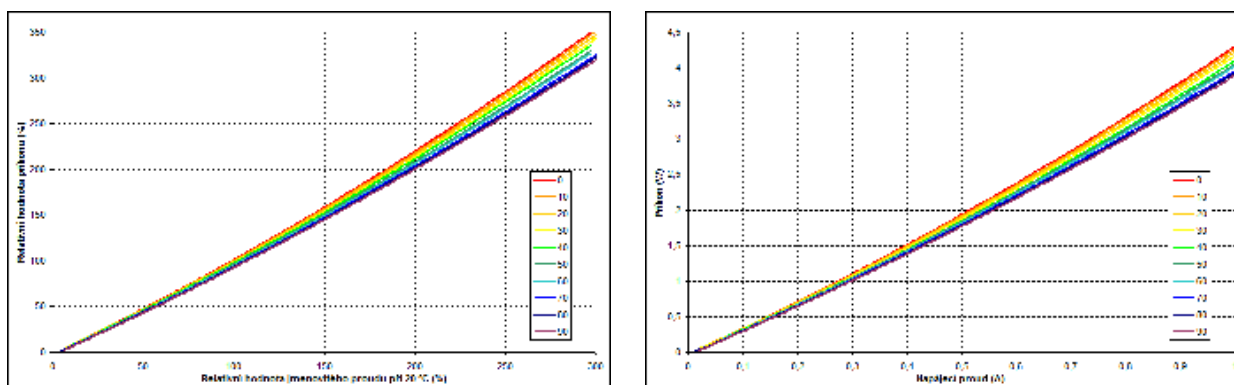
Obr. 2-59 Oteplovací a ochlazovací charakteristika světelné diody a předřadného systému.

Zbývá část této kapitoly je věnována změnám provozních a napájecích parametrů v závislosti na změně teploty u světelné diody Philips Luxeon K2 se jmenovitou hodnotou napájecího proudu 350 mA. V závislosti na teplotě mohou být graficky zobrazovány závislosti v absolutních i relativních hodnotách. Prvním příkladem je měřená ampér-voltová charakteristika, jenž je zobrazena na *Obrázku 2-60*.



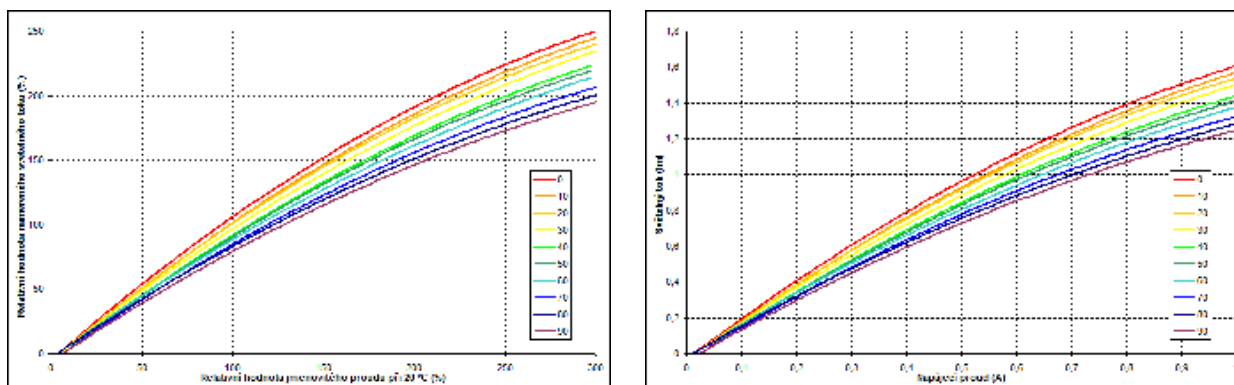
Obr. 2-60 Ampér-voltová charakteristika světelné diody v závislosti na teplotě [34].

Se zvyšující se teplotou PN přechodu světelné diody dochází ke snížení potenciálu přechodové bariéry PN přechodu, což má za následek snížení napětí na samotné diodě. Naopak se zvyšujícím se napájecím proudem dochází k vytlačování nosičů náboje z oblasti přechodu a napětí na diodě se zvyšuje. Výkonová charakteristika na Obrázku 2-61 udává velikost příkonu diody na velikosti napájecího proudu. Z důvodů snížení napětí na PN přechodu diody se vzrůstající teplotou dochází také k ovlivnění příkonu diody.



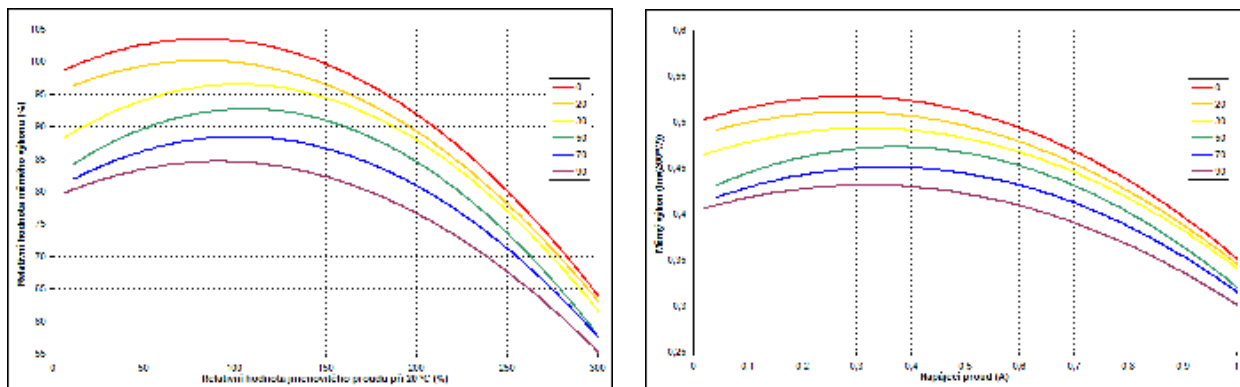
Obr. 2-61 Výkonová charakteristika světelné diody v závislosti na teplotě [34].

Výsledný světelný tok produkovaný diodou je na teplotě přechodu PN závislý ze dvou důvodů. Prvním je snížení napětí a v důsledku i příkonu se vzrůstající teplotou. A druhým důvodem je nižší účinnost vzniku zářivé rekombinace v čipu diody, která s teplotou rychle klesá. Do jisté míry je vyšší teplotou snížena také účinnost luminoforu. Grafická závislost produkovaného světelného toku na velikosti napájecího proudu při různých teplotách PN přechodu diody je znázorněna na následujícím Obrázku 2-62.



Obr. 2-62 Závislost produkce světelného toku v závislosti na teplotě u světelné diody [34].

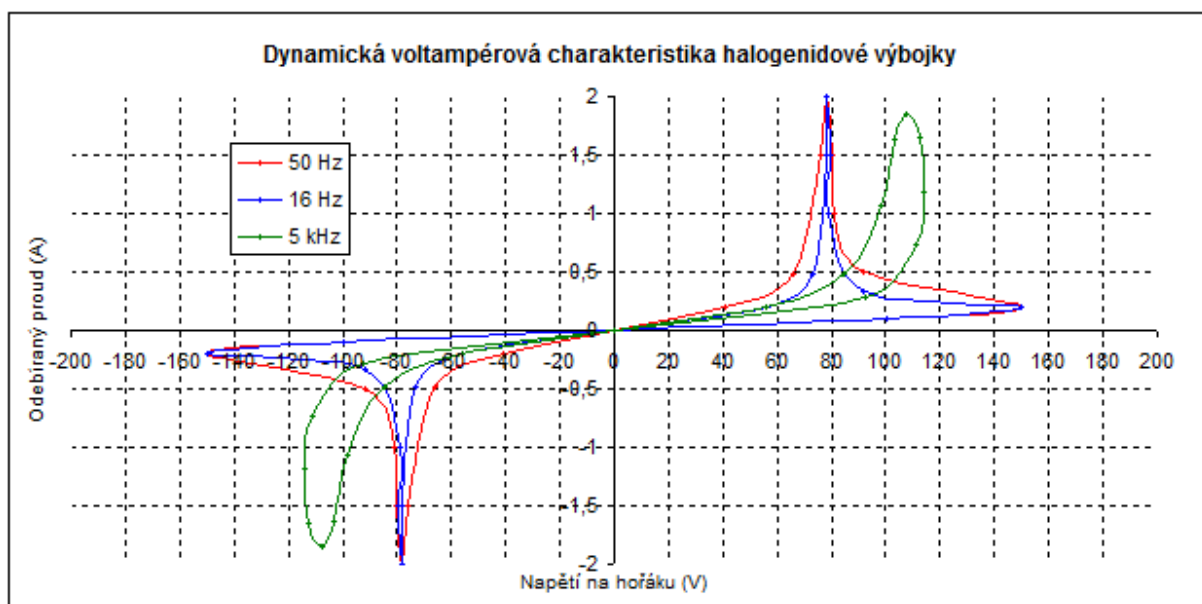
Hodnota měrného výkonu přímo souvisí s účinností přeměny elektrické energie na světlo, v případě naměřených charakteristik sjednocuje negativní působení zvýšené teploty na produkovaný světelný tok a zároveň nižší příkon diody. Výsledkem jsou vypočtené charakteristiky závislosti měrného výkonu na proudu diody a teplotě PN přechodu zobrazené na Obrázku 2-63.



Obr. 2-63 Závislost měř. výkonu světelné diody na velikosti proudu a teplotě PN přechodu [34].

2.4.5 Dynamické VA charakteristiky

Tyto charakteristiky nacházejí své uplatnění u světelných zdrojů, kde není v ustáleném stavu pouze jeden pracovní bod, ale vlivem časové změny napájecích veličin dochází k jeho pohybu po VACH. Nicméně vlivem tepelné setrvačnosti dochází k vytvoření hystereze a pohyb pracovního bodu po VACH není stejný jedním a druhým směrem. Se snižující se napájecí frekvencí je vliv hystereze silnější, naopak při vyšších frekvencích úplně vymizí. Tento jev je patrný převážně u výbojových světelných zdrojů napájených síťovým kmitočtem. Příkladem je dynamická voltampérová charakteristika halogenidové výbojky Osram MH 400 W zobrazena na Obrázku 2-64, která je měřena pro frekvence napájecího proudu 16, 50 a 5 000 Hz. Při frekvenci 5 kHz již dochází ke změně tvaru křivky kvůli velmi nízké předřadné indukčnosti. Při ještě vyšších napájecích frekvencích již dochází k potlačení hystereze a charakteristikou je pouze jedna křivka. Nedochozí zde již ke změnám teploty a tlaku uvnitř hořáku vlivem časové změny příkonu.



Obr. 2-64 Dynamická voltampérová charakteristika halogenidové výbojky.

2.4.6 Simulace dynamických provozních parametrů světelných zdrojů

Při napájení světelných zdrojů ze sítě 50 Hz dochází ke změnám provozních parametrů během jedné periody. Především teplotně závislé komponenty světelných zdrojů, které nemají dostatečnou tepelnou setrvačnost, tyto změny alespoň částečně sledují. Nejvíce jsou tímto jevem zatíženy zdroje výbojové, u nichž je ještě navíc závislost rezistivity výbojové dráhy závislá na procházejícím proudu. Výsledkem jsou značné problémy při výpočtu v čase proměnného napětí na výboji a při zobrazování dynamických VACH, u kterých se navíc projevuje hystereze.

Pomocí matematických simulací je možné realizovat modely těchto světelných zdrojů, které nám umožňují simulovat časové průběhy sledovaných veličin. Při návrhu takového modelu lze vycházet z několika předpokladů. Prvním je skutečnost, že u výbojových zdrojů je přímá úměra mezi hustotou elektronů (volných nosičů náboje) ve výbojové dráze n_e a vzniklou výkonovou ztrátou ΔP . U těchto zdrojů je také lineární závislost produkce elektronů na vstupním příkonu výbojky. A posledním jevem je přímá úměra mezi vodivostí výbojové dráhy výbojky a hustotou elektronů a vzniklých iontů (nosičů náboje ve výbojové dráze).

Tyto základní předpoklady lze zapsat pomocí následujících rovnic, kde u je napětí na výbojové dráze (napěťový úbytek na výbojce) i je proud procházející výbojkou, g elektrická vodivost výbojové dráhy a n_e je hustota nosičů náboje. M , N a F jsou neznámé konstanty, které jsou dány konkrétními parametry výbojky. Vztah (2-18) popisuje první dva předpoklady. [35, 36]

$$\frac{dn_e}{dt} = M \cdot i \cdot u - N \cdot n_e \quad (2-18)$$

Vztah (2-19) popisuje třetí předpoklad.

$$g = \frac{i}{u} = F \cdot n_e \quad (2-19)$$

Eliminací hustoty nosičů náboje z obou vztahů lze získat za pomoci vztahu (2-20).

$$\frac{1}{g} \frac{dg}{dt} = A \cdot u^2 - B \quad (2-20)$$

Kde konstantu A můžeme zapsat jako $A=M \cdot F$ a konstantu B jako $B=N$. Nicméně tyto vztahy jsou pouze přibližné, uvažují pouze s axiální výbojovou dráhou a neuvažují s vlivem předřadného systému. Nejsou zde ani uvažovány výkonové ztráty na stěně hořáku, přes který se odvádí značná část tepelné energie. Navíc všechny konstanty jsou určeny experimentálně. V dalším kroku bude třeba vyjádřit změnu vodivosti výbojové dráhy výbojky v závislosti na čase. Abychom upřesnili získaný výsledek, musíme do výpočtu dále zavést dva další předpoklady. Ztráty ve stěně hořáku jsou reprezentovány vztahem $-B \cdot n_e$ a jsou přímo úměrné ztrátám při srážkách elektronů uvnitř hořáku. Ztráty vlivem rekombinace jsou reprezentovány vztahem $-G \cdot e^{H \cdot n_e}$ a jsou exponenciálně úměrné hustotě nábojů ve výbojové dráze. Kde G a H jsou opět konstanty, které korespondují s fyzikálními vlastnostmi reálné výbojky a jejich určení je nutné provést experimentálně. Z těchto dvou nových předpokladů doplníme již vytvořené vztahy o další členy a tím obdržíme další následující vztah (2-21) [35].

$$\frac{dn_e}{dt} = M \cdot i \cdot u - N \cdot n_e - G \cdot e^{H \cdot n_e} \quad (2-21)$$

$$g = \frac{i}{u} = F \cdot n_e \quad (2-19)$$

Eliminací hustoty nosičů náboje n_e z obou vztahů a nahrazením konstant zjednodušenými dostáváme následující konečný vztah (2-22).

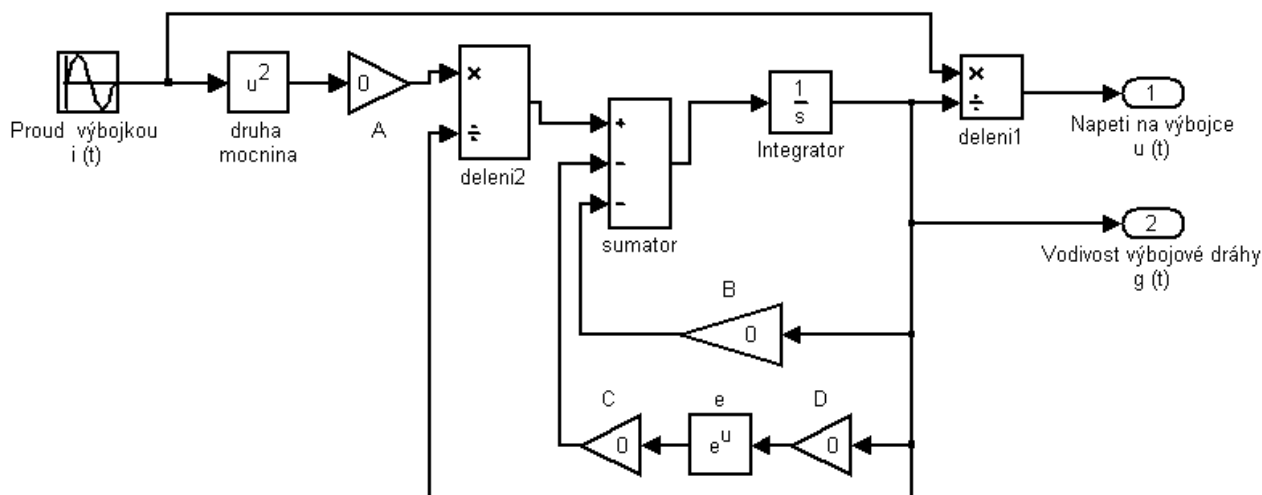
$$\frac{dg}{dt} = A \frac{i^2}{g} - B \cdot g - C \cdot e^{D \cdot g} \quad (2-22)$$

Opět je možné použít zjednodušení, že konstanta $A=M \cdot F$; $B=N$; $C=G \cdot F$; $D=H/F$. Jak již bylo napsáno, tak modelové konstanty A , B , C , D a F přímo závisí na typu výbojky, mohou být přibližně vyčísleny nelineární aproximací z fyzikální podstaty a typu výbojky nebo čistě experimentálně z naměřených provozních parametrů výbojky. Vodivostní model je poté možné vytvořit jako řešení vztahu (2-22). Potřebné koeficienty A , B , C , D jsou zjištěny experimentálně pro dva typy výbojek. První výbojkou je vysokotlaká sodíková výbojka Philips s příkonem 150 W. Druhou výbojkou je vysokotlaká rtuťová výbojka od firmy Osram s příkonem 400 W. V následující *Tabulce 2-24* jsou potřebné koeficienty uvedeny [35, 38].

Tab. 2-24 Koeficienty vysokotlakých výbojek pro vodivostní model.

Výbojka	Jm. příkon (W)	A	B	C	D
Philips VT sodíková	150	0,5	3190	1,5	1
Osram VT rtuťová	400	0,51	3000	1,45	1

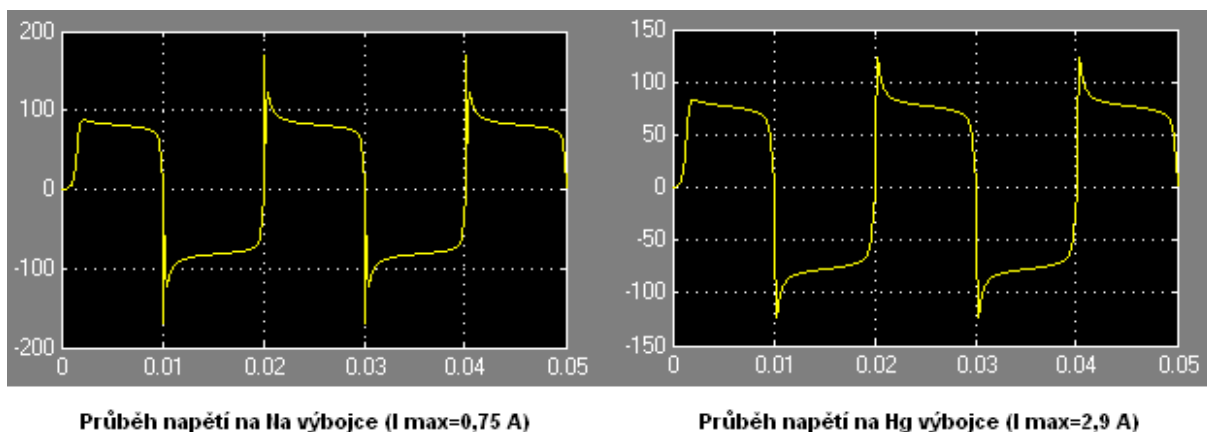
Pro simulaci modelu je vhodné využít například často používaný program Matlab Simulink. Příklad vodivostního modelu v programu Simulink pro vysokotlaké výbojky je uveden na následujícím *Obrázku 2-65*. Napájecí proud je prozatím zvolen jako čistě sinusový průběh.



Obr. 2-65 Vodivostní model VT výbojky v programu MATLAB Simulink.

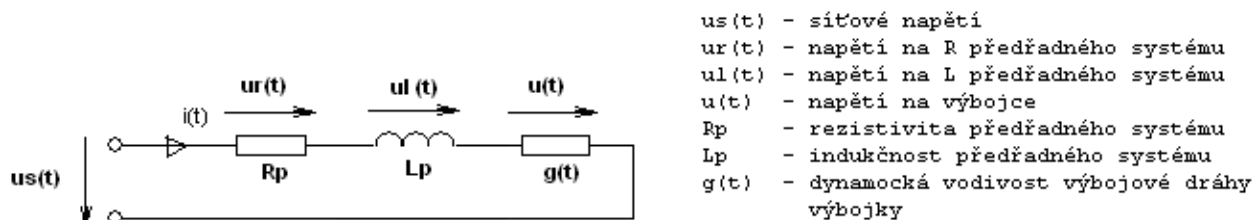
Výsledkem této simulace jsou časové průběhy napětí na výbojce pro obě zvolené výbojky, kde efektivní hodnota proudu u vysokotlaké sodíkové výbojky byla zvolena 0,45 A a u vysokotlaké rtuťové výbojky 2,1 A. Dané časové průběhy jsou na *Obrázku 2-66*.

Výsledky simulace jsou zobrazeny pouze pro první dvě periody, ale i to je dostačující pro dosažení ustáleného provozního stavu.



Obr. 2-66 Časový průběh napětí na výbojové dráze u vysokotlakých výbojek.

Následně je možné do obvodu vřadit předřadný systém v podobě tlumivky. Každá tlumivka má svoji rezistivitu, proto se předřadný systém bude skládat ze sériové kombinace odporu R a indukčnosti L . Principiální schéma zapojení indukčního předřadníku a výbojky je uvedeno na Obrázku 2-67.



Obr. 2-67 Náhradní schéma vysokotlaké výbojky s indukčním předřadníkem.

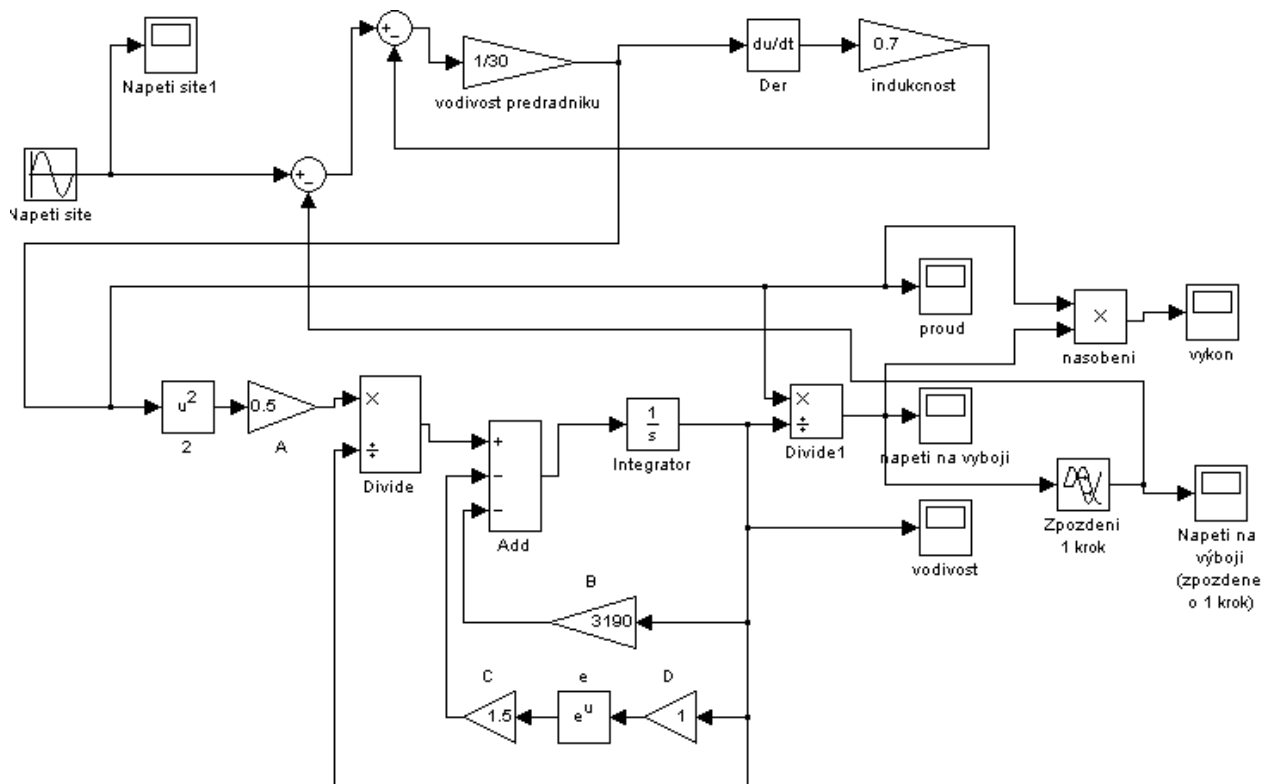
Opět zde lze vyjít z vodivostního modelu a aby bylo možné do modelu zakomponovat tento předřadný systém, lze postupovat takovým způsobem, že se do zpětné vazby vodivostního modelu zakomponuje prvek, ve které se může akumulovat energie. Tento prvek představuje indukčnost, v níž se energie akumuluje do magnetického pole. Pro Obrázek 2-67 platí následující vztahy (2-23) až (2-25) [35, 36].

$$u_s(t) = u_r(t) + u_L(t) + u(t) \tag{2-23}$$

$$u_L(t) = L \frac{di(t)}{dt} \tag{2-24}$$

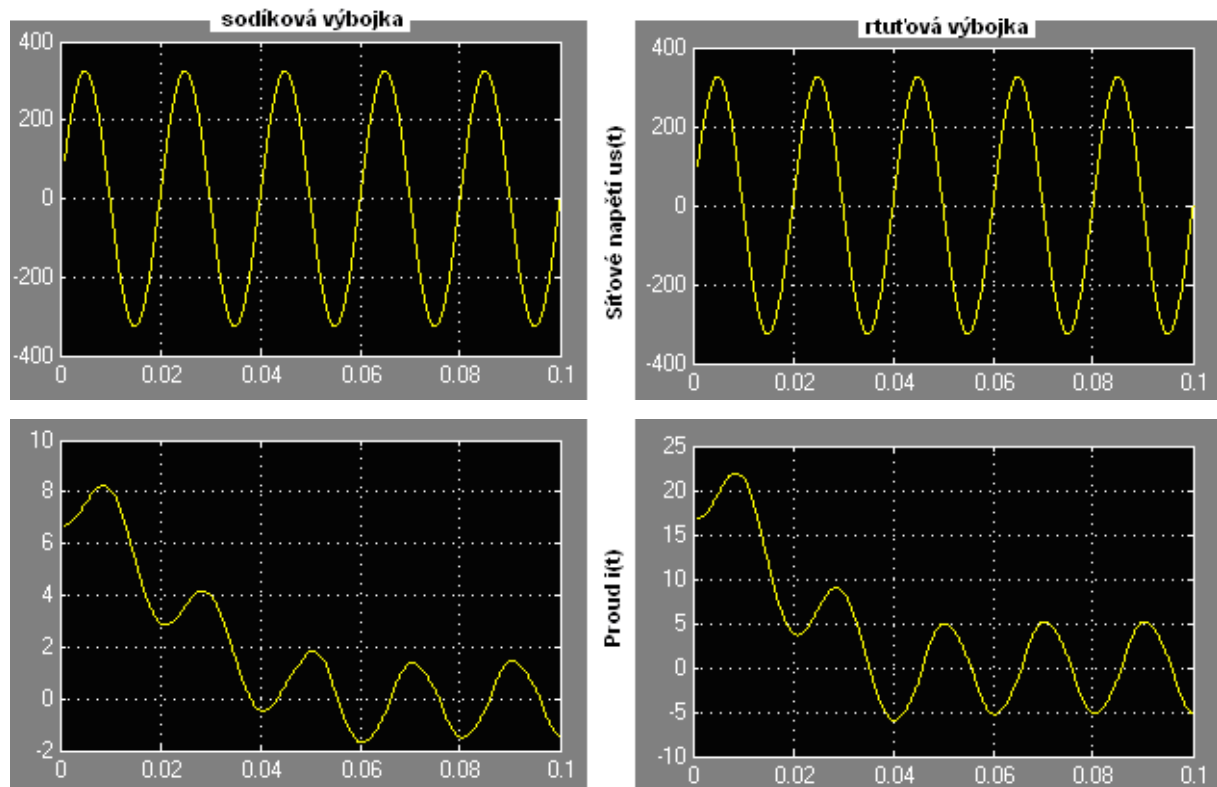
$$i(t) = u_r(t) \frac{1}{R_p} = (u_s(t) - u(t) - u_L(t)) \frac{1}{R_p} = (u_s(t) - u(t) - L \frac{di(t)}{dt}) \frac{1}{R_p} \tag{2-25}$$

Pro simulaci byly zvoleny parametry použitých předřadných tlumivek tak, aby to odpovídalo normalizovaným hodnotám. Rezistivita předřadníku pro sodíkovou výbojku byla nastavena na 15Ω a jeho indukčnost na $0,7 \text{ mH}$. U vysokotlaké rtuťové výbojky byly zvoleny parametry 6Ω a $0,2 \text{ mH}$. Opět tyto hodnoty odpovídají normalizovaným hodnotám běžně používaných indukčních předřadníků pro tento typ výbojek. Na následujícím Obrázku 2-68 je vodivostní model VT výbojky v programu MATLAB Simulink s indukčním předřadným systémem.

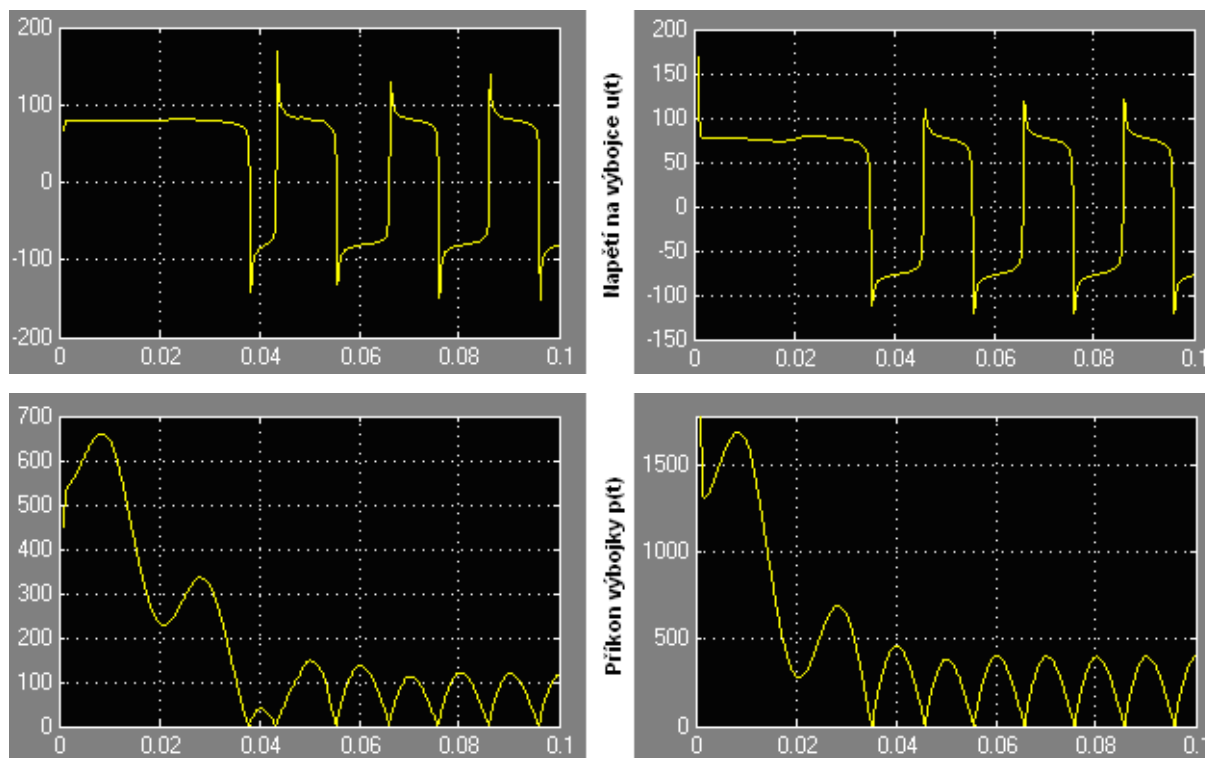


Obr. 2-68 Vodivostní model VT výbojky s indukčním předřadným systémem.

Výsledkem této simulace jsou časové průběhy provozních parametrů vysokotlakých výbojek, které jsou znázorněny na Obrázku 2-69.

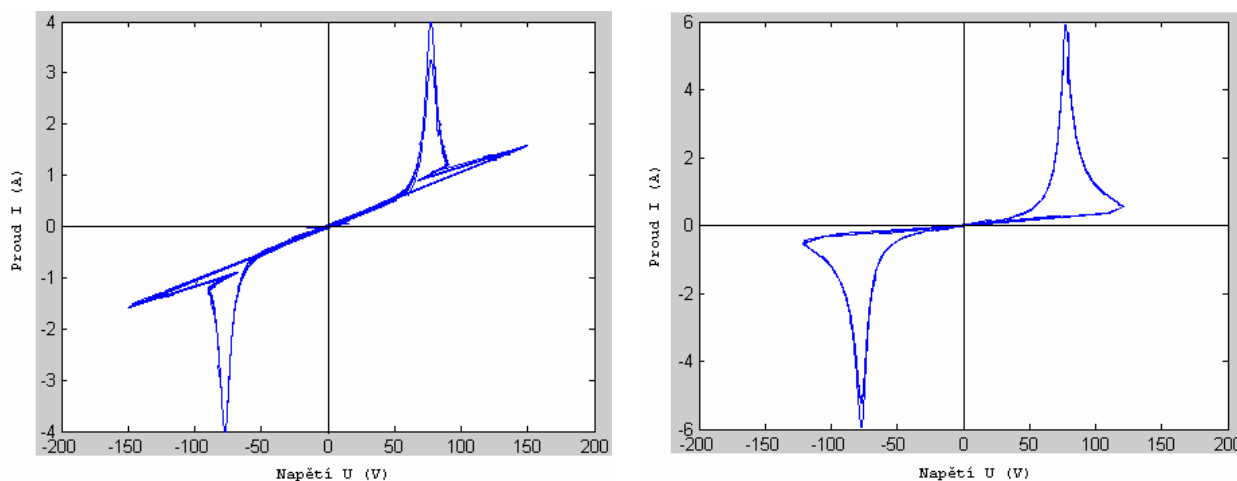


Obr. 2-69 Provozní parametry vysokotlakých výbojek A.



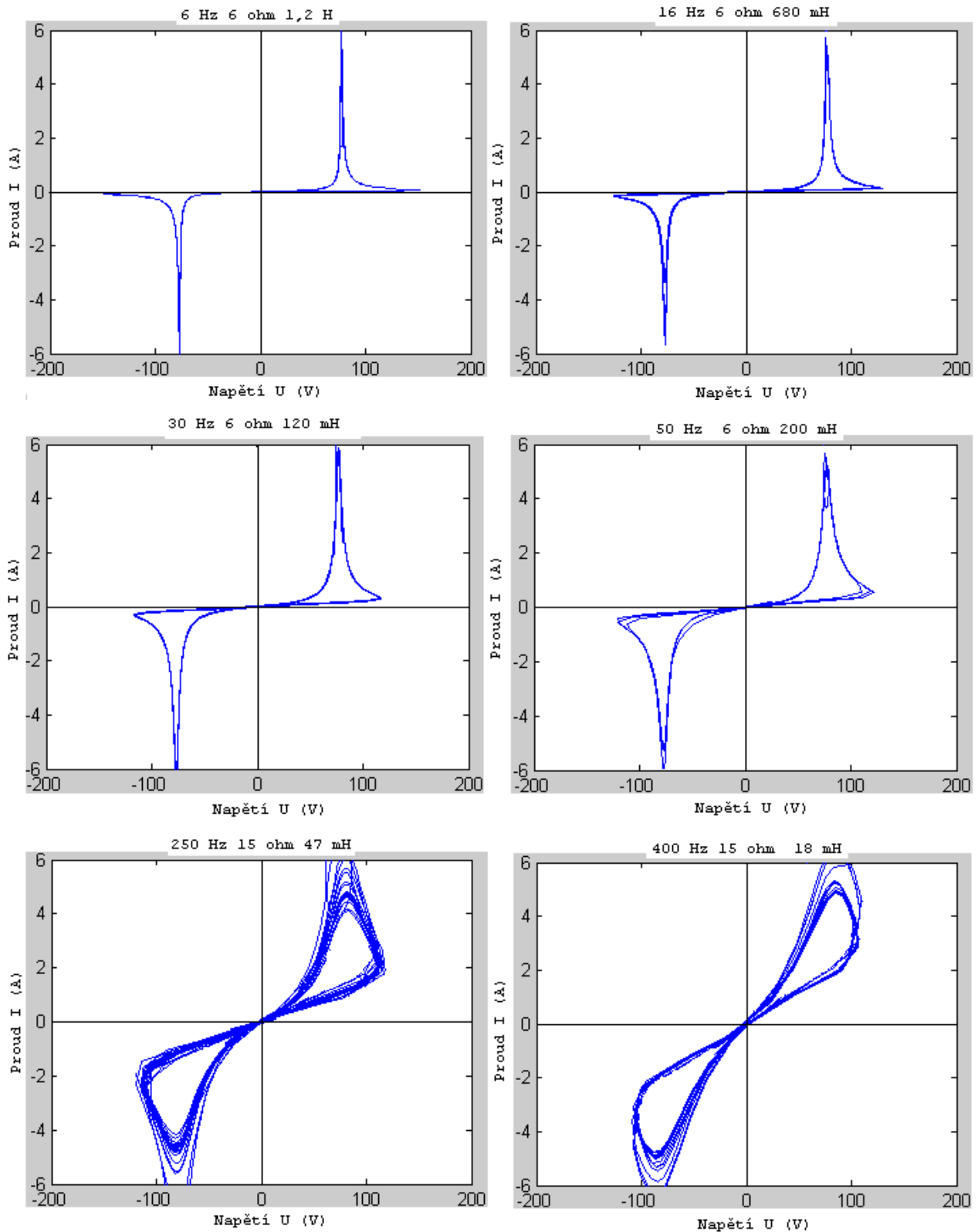
Obr. 2-69 Provozní parametry vysokotlakých výbojek B.

Nejčastěji používaným katalogovým údajem pro popis dynamického chování výbojových světelných zdrojů jsou dynamické VACH. Podrobné informace o této problematice jsou zmíněny v předchozí kapitole „2.4.5 Dynamické VACH“. A právě pomocí matematických modelů je možné tyto charakteristiky modelovat a sledovat jejich změnu při změně provozních parametrů nebo při změně parametrů předřadného systému. Na následujícím Obrázku 2-70 jsou znázorněny VACH pro rtuťovou výbojku 400 W při použití čistě rezistorového předřadníku a následně reálného rezistorově-indukčního předřadníku.



Obr. 2-70 VACH VT rtuťové výbojky 400 W s R a RL předřadníkem.

Při použití smíšeného RL předřadníku můžeme u rtuťové zářivky vynést dynamické VACH také v závislosti na napájecí frekvenci.



Obr. 2-71 Dynamické VACH VT rtuřové výbojky 400 W v závislosti na napájecí frekvenci.

Jak již bylo několikrát zmíněno, při vyšších frekvencích nestíhají změny ve výbojové dráze sledovat změnu příkonu, a proto dochází k přechodu charakteristiky s hysterezí do jediné křivky. Na Obrázku 2-71 jsou znázorněny dynamické VACH od napájecí frekvence 6 Hz po frekvenci 400 Hz. Se změnou napájecí frekvence musí také docházet ke změně parametrů předřadného systému, jehož hodnoty jsou vždy zapsány v záhlaví každého grafu.

V této kapitole uvedené simulace provozních dynamických parametrů vysokotlakých výbojových zdrojů mohou být ukázkou uložení dat do databázových systémů a expertních systémů, kde bude možné snadnou cestou měnit vstupní a získávat výstupní parametry, které bude navíc možné vzájemně porovnávat.

2.5 Vlastnosti svítidel

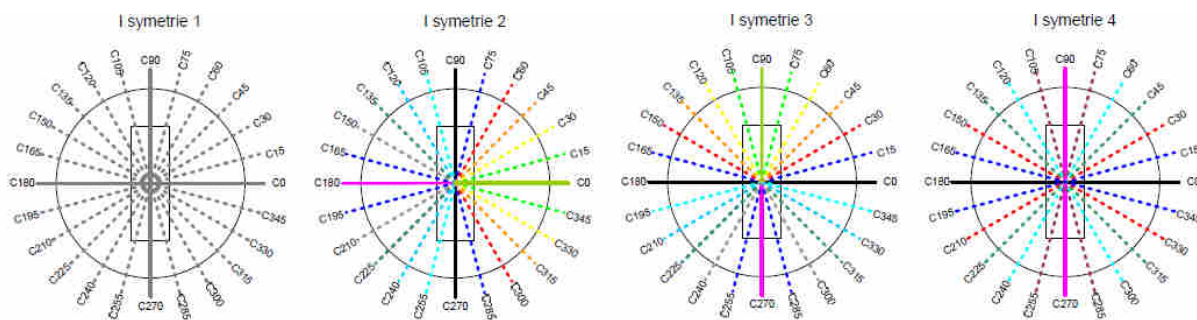
Soubor vlastností a parametrů svítidel, jenž některé jsou shodné se světelnými zdroji, lze rozdělit do tří hlavních kategorií. Nejčastěji katalogově uváděným parametrem jsou podobně jako u světelných zdrojů světelně-technické parametry, které popisují svítidla z pohledu jejich primárního účelu. Další uváděné vlastnosti, které souvisejí s možnostmi napájení a bezpečného provozu, patří do skupiny elektrotechnických vlastností. A poslední skupinou popisující vlastnosti svítidel jsou provozně-technické vlastnosti, jenž souvisí s mechanickou odolností a bezpečnostní samotného provedení.

2.5.1 Světelně-technické vlastnosti

Na rozdíl od světelných zdrojů je tato oblast vlastností u svítidel zúžena pouze na popis křivek svítivosti, pomocí kterých můžeme graficky vyjádřit prostorovou distribuci světelného toku do okolí svítidla. A na popis jasových poměrů, které podobně jako u samotných světelných zdrojů souvisí s mírou oslnění způsobeného svítidlem.

Pro popis vyzařování svítidel je možné využít tzv. fotometrické plochy svítivosti, nicméně problematika měření u této metody je dnes výhradně zastoupena měřením křivek svítivosti (čáry svítivosti). Podobně jako při měření křivek u světelných zdrojů jsou u svítidel také nejvíce využívanou soustavou fotometrické roviny C- γ . Bližší popis k této problematice je uveden v kapitole „2.1.3 Svítivost, její prostorové rozložení u světelných zdrojů“. Křivky svítivosti mohou být zobrazeny jak v polárních, tak v kartézských souřadnicích. Případně je možné využít izokandelových diagramů. A hodnoty svítivosti v graficky vyjádřených křivkách pro svítidla bývají často vyneseny v poměrných jednotkách svítivosti s přepočtem cd/1000 lm. Výsledkem je vzniklá křivka vzájemně porovnatelná s jinými svítidly, případně u jednoho svítidla při použití různých zdrojů. Samozřejmě je možné využít absolutní vyjádření křivek svítivosti přímo v cd.

Většina svítidel je vyrobena osově symetricky. Poté není nutné měřit všechny fotometrické roviny. Existují čtyři druhy symetrie polorovin pro různé symetrie svítidla. Jejich zobrazení je uvedeno na následujícím *Obrázku 2-72*.



Obr. 2-72 Symetrie polorovin pro různé symetrie svítidla [8].

Dalším uváděným parametrem ze skupiny světelně-technických je jas. U svítidel je snaha hodnotu jasu jednotlivých viditelných částí snižovat na co nejmenší hodnoty, případně zakrytím části svítidel s vysokým jasnem tak, aby nebyly v zorném poli pozorovatele. Pokud tyto podmínky

nejdou splněny, dochází k tzv. oslnění. Hodnota míry oslnění G může být všeobecně vyjádřena následujícím vztahem (2-26) [7].

$$G = \frac{L_z \cdot \Omega^b}{L_p \cdot p^d}, \tag{2-26}$$

kde L_z jas svítidla / světelného zdroje,
 L_p jas pozadí,
 Ω prostorový úhel pod kterým je pozorováno svítidlo,
 p činitel polohy, který souvisí s umístěním svítidla a pozorovatele,
 koeficienty a, b, c, d jsou experimentálně stanovené hodnoty od různých autorů.

Následující *Tabulka 2-25* uvádí jednotlivé koeficienty pro výpočet činitele oslnění podle autorů.

Tab. 2-25 Koeficienty a, b, c, d pro výpočet činitele oslnění [7].

Autor	Koeficient a	Koeficient b	Koeficient c	Koeficient d
Netušil	1	0,4	0,5	1
Harrison	2	1	0,6	1
Arndt, Bodman	1	0,33	0,66	1
Hopkinson	1,6	0,8	1	1,6
Sørensen	1	1	1	2

Jelikož náš zrak vnímá jas logaritmicky, bylo vhodné zavést do vztahu pro výpočet oslnění také logaritmus. Pro tento účel byl použit Sørensenův vztah, který byl upraven a dnes je užíván vztah (2-27) pro hodnocení oslnění podle *UGR* (z angl. Unified Glare Ratio) [7].

$$UGR = 8 \cdot \log \left(\frac{0,25}{L_b} \cdot \sum_{i=1}^n \frac{L_i^2 \cdot \Omega_i}{p_i^2} \right) \tag{2-27}$$

Výhodou je možnost automatického výpočtu oslnění podle *UGR* pomocí výpočetní techniky. Do výpočtu i výsledku lze tedy zahrnout každý jas v měřeném zorném úhlu. V následující *Tabulce 2-26* jsou uvedeny maximální hodnoty činitele oslnění pro různé druhy činnosti.

Tab. 2-26 Maximální hodnoty činitele oslnění pro různé pracoviště a činnosti [7].

Pracoviště / druh činnosti	Max. hodnota činitele oslnění
Pracoviště s počítači	16
Kanceláře	19
Průmyslová jemná výroba	22
Průmyslová běžná / střední výroba	25
Průmyslová hrubá výroba	28

2.5.1.A Světelně činné části svítidel

Světelně činné části svítidla zajišťují jeho funkci. Upravují prostorové rozložení světelného toku, který vychází ze světelných zdrojů ve svítidle. A také jsou určeny ke clonění, aby se zabránilo oslnění vlivem vysokého jasu v zorném úhlu pozorovatele. Z hlediska funkce je můžeme rozdělit na několik základních druhů. Nejčastěji jsou používanými světelně aktivními částmi svítidel reflektory, které podle zakřivení svých ploch odrážejí a směřují světelný tok potřebným směrem. Další používanou částí svítidla bývají difuzory, jež díky svému rozptylu snižují hodnotu jasu

světelně aktivních částí svítidla. Používaným jsou taktéž čočky a refraktory, které mají za úkol rozptylovat nebo fokusovat svazek světelného toku tak, aby dostatečně pokryl osvětlovaný prostor. Dalšími prvky mohou být stínidla, kryty, světlovody a filtry.

2.5.1.A.a Reflektory

Úkolem reflektorů je směřovat světelný tok ve svítidle pomocí odrazu. Podle jakosti povrchu odrazných ploch můžeme reflektory rozdělit na zrcadlové, které jsou využívány ve svítidlech pro přesné tvary vytvořených křivek svítivosti. Převážná část odrazu nese zrcadlovou složku. Jsou realizovány především z leštěných kovů nebo nanesených, napařených tenkých lesklých vrstev kovů. Dalším typem jsou matované povrchy, které vytvářejí smíšený odraz, tvořené částečně zrcadlovou a částečně difuzní složkou. Využívají se pro změkčení a korekci křivek svítivosti svítidla. A posledním typem podle jakosti povrchu jsou difuzní reflektory, u kterých má odražený světelný tok převážně difuzní složku. Křivky svítivosti odraženého toku mají přibližně kosinový průběh. Účelem takových reflektorů je vytvářet osvětlení dané roviny s co nejvyšší rovnoměrností. Podle tvaru a prostorové distribuce světelného toku mohou být reflektory kruhové, parabolické, korýtkové, rotačně symetrické, asymetrické a eliptické [6].

U odrazných materiálů je kromě jejich povrchu a tvarových křivek často uváděným parametrem činitel odrazu ρ nebo spektrální činitel odrazu $\rho(\lambda)$. Je to bezrozměrná veličina, která určuje poměr mezi odraženým světelným tokem a tokem dopadajícím na povrch. Běžně používané materiály, kterými jsou nejčastěji leštěné povrchy kovů nebo tenké kovové vrstvy, dosahují odrazu mezi 70 a 90 %. Tenká vrstva chromu okolo 90 % a dnes pro svítidla nejpoužívanější materiály – plechy MIRO mají hodnotu činitele odrazu mezi 95 až 98 % [8].

2.5.1.A.b Difuzory

Jejich účelem je rozptýlit procházející světlo a tím snížit jeho jas. Nejpoužívanějším materiálem je opálové sklo, případně matné plasty. Snahou je dosáhnout minimum ztrát světelného toku vlivem prostupu světla. Poměr mezi světelným tokem z materiálu odcházejícím a přicházejícím se nazývá činitel prostupu a značí se písmenem τ . U reálných v osvětlovací technice používaných materiálů je tato hodnota v rozmezí mezi 50 a 75 %.

2.5.1.A.c Čočky a refraktory

Tyto světelně aktivní části svítidel mění distribuci světelného toku lomem paprsků. Dnes jsou převážně používány jako přímá součást světelného zdroje například u světelných diod. Mají vysokou účinnost prostupu, která se pohybuje mezi 80 a 95 %.

U refraktorů se využívá úplného odrazu daného mezním úhlem použitého materiálu, pomocí kterého se nefokusovaná část světelného toku navrací zpět do útrob svítidla. Vyrábí se jako nejrůznější kryty. Nejčastější využití nacházejí u zářivkových svítidel a jejich úkolem je snižovat výstupní jas svítidla [6].

2.5.1.A.d Ostatní světelně aktivní materiály svítidel

Především ve spolupráci s dnešními moderními světelnými zdroji je používáno více a více nových druhů světelně aktivních materiálů svítidel. Mezi ně patří například holografické struktury, jenž mají na mikroskopické úrovni upravenou strukturu. Stávají se poté spektrálně selektivní a umožňují provádět rozptyl, fokusaci a útlum jednotlivých složek spektra. Takže jsou součástí nejrůznějších spektrálních filtrů. Umožňují také vytvářet polarizované světlo a také světelný tok formovat do nejrůznějších podob svazku.

Dalšími prvky dnešních svítidel a osvětlovacích soustav jsou světlovody a optická vlákna. Ty slouží pro rozvod světelného toku na potřebné místo. Pro účely osvětlování a využití přímého světla ze slunce je nejčastěji využíváno dutých světlovodů, v nichž dochází k několikanásobným odrazům světelného toku o vnitřní stěnu, která je vytvořena z materiálů s vysokým činitelem odrazu >95 %. Pro vzdálený rozvod světelného toku, převážně z malých světelných zdrojů je možné také využít optická vlákna, která jsou vyráběna z plného materiálu. K odrazu o vnitřní stěnu zde také dochází, nicméně se využívá principu úplného odrazu. Průřez optického vlákna je realizován z materiálů se vzrůstajícím indexem lomu směrem od jejich středu. Světelný paprsek tedy putuje směrem ke stěně, kde se vlivem menší fázové rychlosti stáčí zpět do středu vlákna. Tímto způsobem a takřka bezztrátově je možné přenášet světelný tok malých světelných zdrojů na dlouhé vzdálenosti.

Posledními světelně aktivními materiály ve svítidlech jsou nejrůznější clony, kryty a filtry. Clony a kryty mají za úkol zabránit distribuci světelného toku do prostoru, kde by bylo možné oslnit pozorovatele. Jsou vyráběny především ze neprůhledných materiálů, mnohdy s vysokým činitelem odrazu. A filtry jsou spektrálně selektivní prvky svítidla, které umožní prostup pouze vymezené části spektra, zbytek odrazí nebo pohltí.

2.5.2 Elektrotechnické vlastnosti

Elektrotechnické vlastnosti svítidel souvisí s bezpečným provozem svítidla a napájecími parametry.

2.5.2.A Provedení ochrany před úrazem elektrickým proudem

Každé svítidlo musí splňovat podmínky bezpečného provozu, tak aby nemohlo dojít k úrazu či úmrtí osob a poničení okolních zařízení. Podle třídy ochrany před úrazem elektrickým proudem rozlišujeme čtyři třídy, které jsou uvedeny v následující *Tabulce 2-27*.

Tab. 2-27 Maximální hodnoty činitele oslnění pro různé pracoviště a činnosti [7].

Třída ochrany	Popis
0	Pouze základní izolace, toto zařízení se nesmí v ČR používat.
I	Svítidlo má základní izolaci a svorku pro ochranný vodič.
II	Svítidlo je vybaveno dvojitou nebo zesílenou izolací.
III	Svítidlo je napájeno ze zdroje bezpečného malého napětí.

2.5.2.B Elektromagnetická kompatibilita

Svítidlo svojí činností nesmí způsobovat rušení a ovlivnění chodu okolních připojených zařízení. A také musí být samo odolné proti rušení, které přichází z okolí nebo z napájecí sítě. Podrobnosti k této kapitole by již probrány v kapitole „2.3.6 Elektromagnetická kompatibilita světelných zdrojů a svítidel - EMC“.

2.5.2.C Energetická náročnost svítidel

Energetická náročnost svítidel je dána jejich činným příkonem a také jejich optickou účinností. Světelné zdroje, případně předřadné systémy uvnitř svítidel mají maximální hodnotu činného příkonu uvedenou jako štítkovou hodnotu. Samotný transformační řetězec elektrické energie na světelnou byl již popsán v předchozích kapitolách. Při své činnosti vždy vznikají výkonové ztráty na předřadném systému a světelných zdrojích. Z pohledu svítidla je důležité určit jeho samotnou optickou účinnost, kterou je možné jen velmi obtížně stanovit, protože nelze určit světelných tok poskytovaný světelnými zdroji uvnitř svítidla za stejných podmínek, které ve svítidle panují

(vzájemné tepelné ovlivňování apod.). Proto se častěji užívá pojem tzv. „provozní účinnost“. Můžeme ji vyjádřit poměrem celkového světelného toku za pomoci vztahu (2-28), jenž vychází ze svítidla Φ_{sv} , a světelného toku Φ_z , který produkují všechny světelné zdroje uvnitř svítidla. Pro označení provozní účinnosti se používá zkratka LOR (z angl. Light Output Ratio) nebo R_{LO} [6].

$$R_{LO} = \frac{\Phi_{sv}}{\Phi_z} \quad (2-28)$$

Při znalosti provozní účinnosti svítidla je možné určit měrný výkon svítidla, který je často uváděn a používán jako hodnotící parametr energetické náročnosti svítidel. Je možné ho vypočítat pomocí následujícího vztahu (2-29).

$$l = \frac{\Phi_{sv}}{P_{sv}}, \quad (2-29)$$

kde veličina P_{sv} je příkon svítidla (světelných zdrojů včetně předřadných systémů).

2.5.2.D Napájecí štitkové parametry svítidel

Štitkově uváděnou informací u svítidel je dnes vedle energetického štítku také hodnota jmenovitého napětí U_n , které vymezuje možnosti připojení svítidla do sítě. Dále pak hodnota činného příkonu P_n , v případě indukční zátěže (kompenzovaných indukčních předřadníků) také hodnota $\cos\varphi$, případně PF a velikost zdánlivého příkonu S . Jako štitková hodnota může být také uveden maximální odebíraný proud. Požadavkem je uvedení třídy ochrany svítidla před úrazem elektrickým proudem.

2.5.2.E Elektrické části svítidel

Do této kapitole je možné zařadit přívodní vodiče do svítidla, svorkovnice, vodiče uvnitř svítidla, patice a objímky použitých světelných zdrojů. Vzhledem k dimenzování vodičů uvnitř svítidla je nutné znát jmenovitou napěťovou hladinu a také maximální hodnotu proudu odebíraného svítidlem. Pro většinou instalací, kde odebíraný proud nepřekračuje 10 A, postačuje průřez měděných vodičů 1,5 mm². Z pohledu dimenzování izolační hladiny je důležité znát vlastnosti předřadných systémů u svítidel osazených výbojkami. Zde musí být izolační hladina vodičů mezi předřadníkem a paticí světelného zdroje dostatečně dimenzována pro vrcholová napětí zapalovacích impulzů. Svítidla I. třídy ochrany před úrazem elektrickým proudem musejí být navíc vybaveny svorkou pro ochranný vodič.

2.5.3 Provozně-technické vlastnosti

Světelné zdroje a svítidla jsou v dnešní době instalovány do všech možných prostor od interiérových kanceláří, bytů, koupelen, přes skladové prostory, velké haly, hangáry až po pouliční osvětlení nebo osvětlení přistávacích drah letišť. Existují také speciální druhy aplikací, kde jsou na svítidla kladeny speciální požadavky. Například pro trvalé ponoření a vystavení tlakové vody v prostorách bazénu, svítidla do prostor s nebezpečím výbuchu v dolech nebo výměňkových plynových stanicích, až po speciálně konstruovaná svítidla do horkých komor s vysokou úrovní radiace.

2.5.3.A Ochrana svítidel před vnikem cizích těles a vody

Stupeň ochrany krytím je nejčastěji udávaným štitkovým a katalogovým parametrem svítidel. Jeho účelem je informovat o ochraně osob proti dotyku nebo přiblížení se k živým částem

elektrického obvodu svítidla a také chránit vnitřní části svítidla proti vniku cizích pevných těles. Dále pak uvádí stupeň ochrany svítidla proti vniku vody. Pro zápis stupně krytí se již dlouhou dobu používá zkratka IP (z angl. Ingress nebo také International Protection) následovaných dvěma čísly. Následující *Tabulka 2-28* uvádí význam jednotlivých číslic v systému krytí IP.

Tab. 2-28 Stupeň ochrany krytím IP – význam použitých číslic [6].

Ochrana proti vniku prachu a cizích částic		Ochrana před vnikem vody	
Číslice	Popis	Číslice	Popis
0	Bez ochrany proti vniku cizích těles	0	Bez ochrany proti vodě
1	Chráněno proti vniku těles > 50 mm	1	Chráněno proti kapající vodě
2	Chráněno proti vniku těles > 12 mm	2	Ch. proti kapající vodě pod 15°
3	Chráněno proti vniku těles > 2,5mm	3	Chráněno proti dešti
4	Chráněno proti vniku těles > 1 mm	4	Chráněno proti stříkající vodě
5	Chráněno proti prachu	5	Chráněno proti tryskající vodě
6	Prachotěsné	6	Ch. proti tryskající vodě pod tlakem
		7	Chráněno proti účinkům ponoření
		8	Chráněno proti trvalému ponoření

Příkladem stupně krytí IP u svítidel je hodnota IP23, která je určena pro svítidla do venkovního prostředí, chráněná před deštěm. Dále pak je často užíván stupeň krytí IP43 a IP44 pro svítidla výbojková pro venkovní osvětlení. Stupeň IP54 je užíván do prašných prostor těžkého provozu. Moderní pouliční svítidla vybavená světelnými diodami mají optickou soustavu krytou IP65 nebo IP66 a pro bazény jsou využívány svítidla s krytím IP68 [6].

2.5.3.B Požární bezpečnost

Při provozu světelného zdroje, resp. celého svítidla včetně předřadných a napájecích systémů vzniká odpadní teplo. Podle typu světelného zdroje a vnitřního uspořádání svítidla jsou ve výsledku dány tři sledované parametry, jež jsou důležité pro instalaci a samotný provoz.

Prvním sledovaným parametrem jsou teplotní poměry uvnitř svítidla. Je tím myšlena povrchová a vnitřní teplota světelného zdroje, případně napájecích a předřadných systémů. Nejnižšího tepelného potenciálu je dosaženo u svítidel vybavených světelnými diodami, teplota zde v žádné vnitřní části svítidla nepřekračuje hodnotu 100 °C. Světelné zdroje teplotní a výbojové dosahují vyšších povrchových hodnot teploty. Proto se konstrukce i uspořádání svítidel, jež jsou vybaveny těmito zdroje, značně liší [6].

Druhým sledovaným parametrem je povrchová teplota svítidla, která závisí na použitém světelném zdroji, vyzařované tepelné energii použitého světelného zdroje, vnitřní izolaci a také na vzdálenosti světelného zdroje od povrchu a vnitřním uspořádáním. Rozložení a maximální povrchové hodnoty teplot svítidla ovlivňuje také poloha svítidla, která v některých případech musí být z těchto důvodů dodržena. Často se využívá ochlazování vnitřních částí svítidla konvekcí, kdy proud chladného vzduchu vstupuje spodními a vystupuje vrchními otvory – průduchy svítidla. Při nedodržení předepsané polohy k tomuto jevu nedochází vůbec a nebo pouze částečně.

A třetím sledovaným parametrem je vyzařované tepelné záření. Toto záření vystupuje ze svítidla podobně jako světlo a přispívá k ohřevu okolí. Intenzita výstupního tepelného záření převážně souvisí s nejvyšší teplotou ve svítidle, tedy vnitřní částí světelných zdrojů (s teplotou hořáku, výboje, vlákna). Intenzita se zvyšuje přibližně se čtvrtou mocninou teploty, proto zdroje

teplotní a výbojové produkují tohoto záření řádově více, než svítidla vybavená světelnými diodami. Pro částečné snížení tepelného záření se používá dichroických odrazných vrstev a reflektorů, které mají za úkol viditelné záření odrazit směrem na osvětlovaný objekt a záření tepelné přeměnit na oteplení svítidla nebo vyzářit směrem opačným.

Povrchová teplota svítidel souvisí s požární bezpečností a degradací materiálu svítidla i materiálů v okolí. Důležitou roli hraje také hořlavost a zápalnost materiálů v okolí. Proto dělíme svítidla podle materiálu podkladu na „svítidla s možnou přímou montáží na normálně zápalné materiály“, dále pak na „svítidla s nemožnou přímou montáží na normálně zápalné materiály“. V případě druhé kategorie je nutné mezi podklad a svítidlo umístit vhodný nehořlavý materiál. Maximální povrchová hodnota teploty svítidla vymezuje možnost jeho instalace v různých prostorách. *Tabulka 2-29* udává maximální povrchové teploty svítidla pro dané prostory [6].

Tab. 2-29 Maximální povrchové teploty svítidel pro různé prostory [6].

Prostor, definice	Max. teplota (°C)
Běžně nepřístupné prostory	Neomezeno
Vyhrazené přístupné prostory, zóny pro cyklisty, pěší zóny	100
Ostatní přístupné prostory, parkoviště, vozovky	65 kovy, 80 sklo
Zvláštní prostory, školky, koupaliště	40

2.5.3.C Charakter provozních podmínek a mechanická odolnost

V závislosti na charakteru provozu musejí být svítidla upevněna pevně nebo musejí být odolná proti velkým mechanickým zatížením. Prostory dělíme na normální, kde zvýšená opatření na mechanickou a jinou odolnost svítidel nejsou nutná, a na prostory těžké, kde je již nutné svítidlo zajistit pro velká mechanická zatížení.

Z pohledu mechanické odolnosti je nejčastěji užíváno dvojpísmenného kódu IK a číslicemi od 00 do 10, které vyjadřují mechanickou odolnost svítidla, při které musí zůstat zachována jeho bezpečnost a základní funkčnost. Kromě písmenného označení se také používá hodnota energie v J, kterou musí svítidlo ještě vydržet. Označení IKxx platí zpravidla pro celé svítidlo a jeho hodnoty jsou uvedeny v následující *Tabulce 2-30*.

Tab. 2-30 Hodnoty mechanické odolnosti svítidel IK a hodnota energie [6].

Kód	IK00	IK01	IK02	IK03	IK04	IK05	IK06	IK07	IK08	IK09	IK10	-
Energie	0	0,15	0,2	0,35	0,5	0,7	1	2	5	10	20	50

2.5.3.D Svítidla do prostor s nebezpečím výbuchu

Pro prostory s nebezpečím výbuchu je nutné provést úpravu svítidel tak, aby se nestaly iniciačním zdrojem výbuchu. Kromě iniciační podmínky musí být pro tvorbu výbuchu v daném prostoru také přítomna výbušná nebo hořlavá látka a oksylichovadlo. Svítidla při svém běžném provozu produkují velké množství iniciačních impulsů, které je potřeba potlačit nebo jim úplně zabránit. Mezi nejčastější iniciátory patří především horké povrchy, jiskry, statická elektřina, ionizující záření, ultrazvuk, vysokofrekvenční energie a mikrovlny. Prostory s nebezpečím výbuchu je možné rozřadit do několika základních zón podle výbušné atmosféry a délky pravděpodobného výskytu výbušné směsi. Tyto zóny jsou popsány v *Tabulce 2-31* [6].

Tab. 2-31 Zóny prostorů s nebezpečím výbuchu [6].

Nebezpečí výbuchu plynů a par		Nebezpečí výbuchu prachu	
zóna	Popis, definice	zóna	Popis, definice
0	Atmosféra vzduchu a výbušných par nebo plynů přítomných dlouhou dobu.	20	Atmosféra zvířeného hořlavého prachu přítomného dlouhou dobu.
1	Atmosféra vzduchu a výbušných par nebo plynů přítomných občas.	21	Atmosféra zvířeného hořlavého prachu přítomného občas.
2	Atmosféra vzduchu a výbušných par nebo plynů přítomných krátkou dobu.	22	Atmosféra zvířeného hořlavého prachu přítomného krátkou dobu.

Dále pak je možné provést dělení svítidel do svou skupin podle místa určení na Skupinu I, jenž je určena do podzemí, kde převážně hrozí výbuch prachu nebo důlních plynů. A na Skupinu II, která je určena pro prostory ostatní. Skupinu svítidel I je možné dále dělit na kategorie M1 a M2 podle přítomnosti výbušné atmosféry a skupinu svítidel II na tři kategorie 1, 2 a 3, které se opět navzájem liší délkou trvání a pravděpodobností výskytu výbušné atmosféry [6].

2.5.3.E Konstrukční části svítidel

Požadavky na konstrukci svítidel je možné shrnout do potřeb mechanického upevnění všech funkčních částí svítidla a zajistit jeho pevnost pro transport, skladování, instalaci a samotný provoz. Nosná konstrukce slouží pro upevnění svítidla a mechanické upevnění jednotlivých komponentů. U některých svítidel je používána průhledná krycí část – ochranná konstrukce, která je vyrobena buď ze skla nebo plastů. Jejím účelem je zajistit mechanickou pevnost svítidla a ochranu před dotykem, vnikem cizích těles, případně vody. Požadavkem na jednotlivé části svítidla je jejich nehořlavost, mechanická stálost, tepelná odolnost, izolační vlastnosti a odolnost proti UV záření u světelných zdrojů, které ho produkují.

2.5.4 Třídění svítidel

Základním dělením svítidel je podle jejich účelu. Dále je možné určit různá třídící kritéria, například podle montáže, vyznačovaných charakteristik, technických parametrů – příkonu, stupně krytí, použitelných světelných zdrojích apod. Podle účelu je možné svítidla rozdělit do třech základních skupin. Nejvíce zastoupenou jsou svítidla technická, následují svítidla dekorační a třetí specifickou a nejméně zastoupenou skupinou jsou svítidla signalizační.

2.5.4.A Svítidla technická

Do této kategorie patří většina vyráběných svítidel, jejichž úkolem je osvětlování objektů nebo prostoru na požadovanou úroveň osvětlení. Dle způsobu napájení je můžeme rozdělit na svítidla běžná, která jsou určena pro osvětlování při bezporuchovém stavu jejich napájení, a na svítidla pro nouzový provoz, jenž se používají k nouzovému osvětlení při výpadku elektrického napájení. Pro popis těchto svítidel jsou využívány datové formáty, které jsou rozepsány v kapitole „4 Vhodné způsoby pro popis světelných zdrojů a svítidel“. Kromě datových formátů, které nezahrnují všechny v dnešní době potřebné parametry, lze k popisu svítidel využít tyto světelně-technické parametry: křivky svítivosti, max. hodnoty jasu, úhly clonění, výstupní světelné toky svítidla, příkony svítidel, příkony jednotlivých sv. zdrojů, sv. účinnosti svítidel a měrný výkon.

Tyto svítidla jsou určena pro osvětlování vnitřních i venkovních prostor. Z pohledu využití směrovosti produkovaného světelného toku je můžeme rozdělit do dvou skupin. První skupinou jsou svítidla pro všeobecné osvětlování a druhou skupinou jsou svítidla pro směrové osvětlování.

2.5.4.A.a Svítidla technická pro všeobecné osvětlování

Tyto svítidla lze dále dělit na kategorii přímých, smíšených a nepřímých svítidel. Pro jejich popis a dělení se využívají buď pásmové toky nebo křivky svítivosti. Nicméně nejčastěji se užívá dělení podle procentuálního vyzáření světelného toku do horního nebo dolního poloprostoru. Následující *Tabulka 2-32* popisuje třídění svítidel podle tohoto dělení.

Tab. 2-32 Třídění technických svítidel pro všeobecné osvětlování [8].

Kategorie	Označení svítidla	Podíl sv. toku do dolního poloprostoru	Podíl sv. toku do horního poloprostoru
A	Přímé	100 – 90 %	0 – 10 %
B	Převážně přímé	90 – 60 %	10 – 40 %
C	Smíšené	60 – 40 %	40 – 60 %
D	Převážně nepřímé	40 – 10 %	60 – 90 %
E	Nepřímé	10 – 0 %	90 – 100 %

Kromě třídění podle poměru distribuce světelného toku do horního nebo dolního poloprostoru je často užívaným parametrem tvar křivek svítivosti. K tomuto účelu se používá parametr, stanovující deformaci křivky svítivosti, činitel tvaru křivky svítivosti K_F . Hodnotu tohoto parametru můžeme určit ze vztahu (2-30) [8].

$$K_F = \frac{I_{MAX}}{I_{STŘ}}, K I_{STŘ} = \frac{\sum_{\alpha=5^{\circ}}^{\alpha=85^{\circ}} I_{\alpha}}{9}, \quad (2-30)$$

kde I_{MAX} je maximální svítivost,

$I_{STŘ}$ je střední hodnota svítivosti,

I_{α} je svítivost odečtená z křivky svítivosti v intervalu od 5° do 85° po 10° .

Podle činitele tvaru křivky K_F můžeme provést dělení svítidel, které je uvedeno v *Tabulce 2-33*.

Tab. 2-33 Dělení technických svítidel podle činitele tvaru křivky [6, 8].

Označení	Název křivky	Hodnota K_F (-)	Pásmo úhlů ($^{\circ}$)
a	Koncentrovaná	>3	0 – 15
b	Hluboká	2 – 3	0 – 30 ; 180 – 150
c	Kosinová	1,3 – 2	0 – 35 ; 180 – 145
d	Pološíroká	>1,3	35 – 55 ; 145 – 125
e	Široká	>1,3	55 – 85 ; 95 – 125
f	Rovnoměrná	0,7 – 1,3	0 – 180

Alternativou dělení svítidel podle křivek svítivosti uvedených v *Tabulce 2-33* je možnost využít systému dělení podle BZ (z angl. British zone). Tento systém je složitější než předchozí, nicméně nabízí daleko více prakticky upotřebitelných variant. K popisu využívá přímo matematický popis křivek svítivosti. Toto dělení je uvedeno v *Tabulce 2-34*. Ale i tento systém je pro dnešní popis svítidel nedostačující. Tvary křivek svítivosti, především u moderních světelných zdrojů – světelných diod vybavených složitou optikou, jsou mnohem složitější, a proto byly zavedeny pojmy jako hornozářič, dolnozářič, hlubokozářič a širokozářič, případně další.

Tab. 2-34 Dělení technických svítidel podle systému BZ křivek [6].

Označení	Matematický zápis křivky svítivosti
BZ 1	$I\alpha = I_0 \cos \alpha$
BZ 2	$I\alpha = I_0 \cos^3 \alpha$
BZ 3	$I\alpha = I_0 \cos^2 \alpha$
BZ 4	$I\alpha = I_0 \cos^{1,5} \alpha$
BZ 5	$I\alpha = I_0 (1 + \cos \alpha)$
BZ 6	$I\alpha = I_0 (1 + 2\cos \alpha)$
BZ 7	$I\alpha = I_0 (2 + \cos \alpha)$
BZ 8	$I\alpha = \text{konstantní}$
BZ 9	$I\alpha = I_0 (1 + \sin \alpha)$
BZ 10	$I\alpha = I_0 \sin \alpha$

Následující *Tabulka 2-35* obsahuje další používané termíny popisující tvar křivky svítivosti. Pro svítidla v pouličním osvětlení je důležitým charakteristických parametrem tvar fotometrické plochy svítivosti v podélném směru rovin C0 – C180. Pro určení směrovosti svítidla je udáván elevační úhel γ , který udává odklon středu světelného svazku svislé osy svítidla. Určuje se v rovině křivek svítivosti C s nejvyšší hodnotou svítivosti. Úhel γ se určuje jako průměr úhlů na křivce svítivosti, kde je svítivost na úrovni 90 % maximální hodnoty. Dělení pouličních svítidel podle tohoto kritéria je uvedeno v *Tabulce 2-36*.

Tab. 2-35 Termíny používané pro popis tvaru křivky svítivosti u svítidel [6].

Označení	Popis
Dolnozářič (Downlight)	Je zpravidla bodové svítidlo, jehož světelný tok je směřován do dolního poloprostoru.
Hornozářič (Uplight)	Je svítidlo, které slouží pro nepřímé osvětlení prostoru. Jeho světelný tok je distribuován do horního poloprostoru.
Hlubokozářič (Highbay)	Svítidla pro osvětlení velkých hal a prostranství, pro osvětlování z velké výšky, jejich vzájemné umístění je v kratších vzdálenostech, než je jejich výška.
Širokozářič (Lowbay)	Svítidla pro osvětlení velkých hal a prostranství, pro osvětlování z velké výšky, jejich vzájemné umístění je v delších vzdálenostech, než je jejich výška.

Tab. 2-36 Dělení pouličních svítidel podle tvaru fotometrické plochy v podélném směru [6].

Označení	Úhel středu světelného svazku γ podle CIE (°)
Krátký	<60
Střední	60 – 70
Dlouhý	>70

2.5.4.A.b Svítidla technická pro přímé osvětlování

Tato svítidla jsou spíše určena k osvětlování daného předmětu než celého vymezeného prostoru. Svítidla lze rozdělit na svítidla směrovatelná, u nichž lze měnit směr distribuce světelného toku, a na svítidla pevná, u kterých směr měnit nelze. Často používanou klasifikací je jejich dělení podle tvaru vytvořené stopy na srovnávací rovině. Toto dělení je uvedeno v následující *Tabulce 2-37*.

Tab. 2-37 Dělení technických svítidel pro přímé osvětlování podle tvaru světelné stopy [6].

Označení	Popis
A	Svítidla rotačně symetrická (křivky ve tvaru kružnice).
B	Svítidla souměrná podle dvou kolmých rovin (křivky ve tvaru elipsy).
C	Svítidla souměrná podle jedné roviny.
D	Svítidla nesouměrná.

Dalším používaným dělením svítidel pro přímé osvětlování spočívá v klasifikaci šířky produkovaného svazku světelného toku. Podobně jako u vyzařovaného úhlu se i zde využívá úhel při poklesu svítivosti na polovinu $\gamma_{50\%}$. Toto dělení je uvedeno v následující Tabulce 2-38.

Tab. 2-38 Dělení technických svítidel pro přímé osvětlování podle šířky svazku [6].

Popis světelné svazku	Označení	Úhel poloviční svítivosti $\gamma_{50\%}$ (°)
Úzký	S	<20
Střední	M	20 – 40
Široký	W	>40

Podobně jako u svítidel pro všeobecné osvětlování i pro svítidla směrová je užíváno několik již zavedených pojmů. Jejich popis je uveden v Tabulce 2-39.

Tab. 2-39 Termíny používané pro popis směrových svítidel [6].

Označení	Popis
Světlomet	Svítidlo vybavené reflektorem nebo refraktorem pro zvětšení svítivosti v omezeném prostorovém úhlu.
Úzkoúhlý světlomet (Spotlight)	Je typ světlometu s vrcholovým úhlem vyzařovaného svazku světelného toku menším jak 20 °.
Širokoúhlý světlomet (Floodlight)	Světlomet pro osvětlení velkých ploch a zvýšení kontrastu osvětlovaných objektů proti okolí.
Bokozářič (Wallwasher)	Je svítidlo zpravidla pevného provedení, jehož úkolem je vytvoření rovnoměrného osvětlení vertikálních ploch.

2.5.4.B Svítidla dekorační

Tato kategorie zahrnuje svítidla jejichž primárním účelem je působit dekorativně nebo vytvářet různé světelné efekty. Pro jejich popis je možné použít běžné světelně-technické a provozně-technické parametry, nebo použít některý z datových formátů.

2.5.4.C Svítidla signalizační

Svítidla v této kategorii je možné rozdělit na svítidla signalizační a orientační. Slouží pro zajištění orientace a bezpečného pohybu, případně pro udání například důležitých míst (policie, WC, apod.). Je možné jejich použití pro běžné situace, ale také situace mimořádné. Pro jejich popis je využíváno především vybraných světelně-technických parametrů. Z těch nejdůležitějších je to jas, spektrální vlastnosti vyzařovaného světla a křivky svítivosti.

2.6 Parametry ostatní

Pro databázový a expertní systém je potřeba získat data z oblasti světelné techniky a osvětlování z co nejširších spekter nosičů informace. Ve výsledku se poté v jednom balíku informací vyskytují data ze zdrojů věrohodných, ověřených a data ze zdrojů méně věrohodných nebo dokonce pochybných. Dále pak jsou data dostupná i z věrohodných zdrojů neustále

aktualizovaná, a proto je nutné znát jejich poslední aktualizace. Právě kvůli těmto dvěma problémům vyvstává požadavek umožnit každé zapsané hodnotě/údaji v databázi uvést pomocné atributy. Prvním atributem je aktuálnost a druhým věrohodnost.

2.6.1 Aktuálnost

Atribut aktuálnost uvádí datum pořízení nebo zveřejnění dané informace tak, aby bylo v budoucnu možné provést porovnání případných změn nebo uvést třeba i více hodnot daného parametru s různou aktuálností. Při aktivaci tohoto atributu je možné zadávat daný časový okamžik. K výběru jsou čtyři volby, které vychází z používaného zadávání aktualizací parametrů dokumentů, katalogů, či dílčích informací. Většinou je pro jeden dokument, například katalog, uveden pouze jeden datum, jenž uvádí zveřejnění dat. Jednotlivé volby výběru atributu aktuálnost jsou uvedeny v následující *Tabulce 2-40*.

Tab. 2-40 Aktuálnost dat.

Typ aktuálnosti dat	Zápis	Příklad
Přesný datum a čas	DD.MM.YYYY HH:MM	24.12.2013 18:16
Den	DD.MM.YYYY	24.12.2013
Měsíc	MM.YYYY	12.2013
Rok	YYYY	2013

Při exportu dat je nutné věnovat pozornost zápisu data, jelikož kromě námi užívaného formátu DD.MM.YYYY je také často užíván zápis MM.DD.YYYY. Písmeno D představuje den, M měsíc a Y rok.

2.6.2 Věrohodnost informace

Tab. 2-41 Věrohodnost informace.

Úroveň věrohodnosti	Možnost volby	Rozeř, formát, popis
0 – neověřený zdroj	Popis	Text
	URL/Odkaz	Text / http
	Bibliografická citace	Text
1 – odborný článek	Popis	Text
	ISBN	Číslo / text
	Bibliografická citace	Text
	Impact Factor	Číslo / text
2 – kniha, časopis	Popis	Text
	ISBN	Číslo / text
	Bibliografická citace	Text
	Impact Factor	Číslo / text
	Strana	Číslo
3 – katalog výrobce	Popis	Text
	Vydavatel	Text
	Strana	Číslo
4 - norma	Název	Text (ČSN/ISO/EN/DIN)
	Strana	Číslo
	Odstavec	Číslo / text
5 – laboratorní měř.	Měřil	Text (jméno, příjmení)
	Laboratoř	Text (VUT, FEKT, Lab. Sv. technika)
	Použití měř. přístroje	Text
6 - dogma	Zdroj	Text

Pro rozlišení věrohodnosti a původu dané informace v databázovém a expertním systému je možné využít atributu věrohodnost, který nejen určí zdroj informace, jeho relevantnost, ale také další podrobnosti, jako například online dostupnost, přesnost či nejistotu apod. *Tabulka 2-41* uvádí jednotlivé úrovně dělení atributu věrohodnosti.

2.7 Přehled parametrů

Tato kapitola obsahuje přehled katalogově uváděný, laboratorně měřených a případně jiných pro vzájemnou komparaci zajímavých parametrů světelných zdrojů a svítidel. Kvůli velkému rozsahu předchozích kapitol je zde vytvořeno shrnutí. V následující *Tabulce 2-42* je uveden popis použitých zkratk v přehledu parametrů světelných zdrojů a svítidel. Tyto zkratky jsou uvedeny i v dalších kapitolách a také jsou uvedeny v soupisu zkratk na začátku této práce. V *Tabulkách 2-43* a *2-44* jsou uvedeny zde zmíněné parametry světelných zdrojů a svítidel.

Tab. 2-42 Popis použitý zkratk.

Zkratka	Popis
SZ	Světelný zdroj
SV	Svítidlo
Rel.	Relativní
Zkratka	Popis
PS	Předřadný systém
EM	Elektromagnetický
EL	Elektronický
VACH	Voltampérová charakteristika
PAR, FAR	Fotosynteticky aktivní záření
PP	Provozní parametr
ST SP SZ	Kategorie - Světelně-technické, Statické parametry, Světelné zdroje
ST/E SP SZ	Kategorie - Světelně-technické a elektrické, Statické parametry, Světelné zdroje
E SP SZ	Kategorie - Elektrické, Statické parametry, Světelné zdroje
E DP SZ	Kategorie - Elektrické, Dynamické parametry, Světelné zdroje
O SP SZ	Kategorie - Ostatní, Statické parametry, Světelné zdroje
SE/O SP SZ	Kategorie - Světelně-elektrické a ostatní, Statické parametry, Světelné zdroje
DP SZ	Kategorie - Dynamické parametry, Světelné zdroje
ST SV	Kategorie - Světelně-technické, Svítidla
E SV	Kategorie - Elektrické, Svítidla
ST/E SV	Kategorie - Světelně-technické a elektrické, Svítidla
PT SV	Kategorie - Provozně-technické, Svítidla

Tab. 2-43 Přehled uváděných parametrů světelných zdrojů.

№	Parametr/Veličina/Proměnná	Kategorie	Označení	Jednotka
1	Typ/kategorie SZ			
2	Rodina			
3	Název/typ/označení			
4	Výrobce			
5	Zářivý tok	ST SP SZ	Φ_e	W
6	Světelný tok	ST SP SZ	Φ	lm
7	Měrný výkon	ST/E SP SZ	η, Mz	lm.W ⁻¹
8	Svítivost	ST SP SZ	I	cd

№	Parametr/Veličina/Proměnná	Kategorie	Označení	Jednotka
9	Křivky svítivosti	ST SP SZ		
10	Vyzař. úhel/Úhel poklesu sví.50%	ST SP SZ	$\gamma_{50\%}$	°
11	Spektrum radiometrické	ST SP SZ		$\text{W}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{nm}^{-1}$
12	Spektrum fotometrické	ST SP SZ		$\text{lm}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{nm}^{-1}$
13	Dominantní vlnová délka	ST SP SZ	λ_p	lm
14	Teplota chromatičnosti	ST SP SZ	T_c	K
15	Ekvivalentní teplota chrom.	ST SP SZ	T_e	K
16	Náhradní teplota chromatičnosti	ST SP SZ	T_n	K
17	Trichromatický systém RGB	ST SP SZ	R, G, B	
18	Trichromatický systém RGB rel.	ST SP SZ	r, g, b	
19	Trichromatický systém XYZ	ST SP SZ	X, Y, Z	
20	Trichromatický systém XYZ rel.	ST SP SZ	x, y, z	
21	Trichromatický systém UVW	ST SP SZ	U, V, W	
22	Trichromatický systém UVW rel.	ST SP SZ	u, v, w	
23	Barva světla/barevný odstín	ST SP SZ	$text$	
24	Index podání barev	ST SP SZ	R_a, CRI	-, %
25	Jas	ST SP SZ	L	$\text{cd}\cdot\text{m}^{-2}$
26	Napájecí napětí	E SP SZ	U	V
27	Frekvence sítě	E SP SZ	f	Hz
28	Příkon	E SP SZ	P	W
29	Činný příkon	E SP SZ	P, P_n, P_{in}	W
30	Jalový příkon, Reaktivní příkon	E SP SZ	Q, Q_{in}	Var
31	Zdánlivý příkon	E SP SZ	S, S_n, S_{in}	VA
32	Účinník, $\cos\varphi$	E SP SZ	$\cos\varphi$	-
33	Power Factor, PF	E SP SZ	PF	-
34	Odebíraný proud	E SP SZ	I	A
35	Čas. průběh odebíraného proudu	E DP SZ	$I(t)$	A (s)
36	Napětí na výboji	E DP SZ	$U_A(t)$	U (s)
37	Zápalné napětí	E SP SZ	U_Z	U
38	Předřadný systém	E SP SZ	-	EM / EL
39	Indukčnost EM předřadného sys.	E SP SZ	L_p	H
40	Rezistivita EM předřadného sys.	E SP SZ	R_p	Ω
41	Energetické ztráty předřadných s.	E SP SZ	$\Delta P_p, P_p$	W
42	Činitel energetické účinnosti PS	E SP SZ	-	A,B,C,D
43	Energetická třída sv. zdrojů	E SP SZ	-	A,B,C,D,E
43	Život světelného zdroje	O SP SZ		h
44	Užitečný život	O SP SZ		h
45	Fyzický život	O SP SZ		h
46	Průměrný život	O SP SZ		h
47	Činitel stárnutí	O SP SZ		h
48	Počáteční tok	ST SP SZ	Φ_p	lm
49	Vnější rozměr sv. zdroje (x)	O SP SZ	$Rozměr x$	m, mm
50	Vnější rozměr sv. zdroje (y)	O SP SZ	$Rozměr y$	m, mm
51	Celková výška sv. zdroje (z)	O SP SZ	$Rozměr z$	m, mm
52	Hmotnost sv. zdroje	O SP SZ	m	kg
53	Rozměr sv. aktivní části SZ (x)	O SP SZ	$SV. r. x$	m, mm
54	Rozměr sv. aktivní části SZ (y)	O SP SZ	$SV. r. y$	m, mm
55	Výška světelného středu SZ	O SP SZ		m, mm
56	Výška sv. aktivní části SZ (z)	O SP SZ	$SV. r. z$	m, mm

№	Parametr/Veličina/Proměnná	Kategorie	Označení	Jednotka
57	Patice / závit světelného zdroje	O SP SZ		
58	Vnější krycí materiál SZ	O SP SZ		
59	Křížové charakteristiky	SE/O SP SZ		
60	VACH	SE/O SP SZ		
61	Statistické vyhodnocení par.	SE/O SP SZ		
62	Relace mezi provoz. parametry	SE/O SP SZ		
63	Kontingenční tabulky	SE/O SP SZ		
64	Fotosynteticky aktivní záření, FAR	SE/O SP SZ	PAR, FAR	
65	Zářivý tok FAR	SE/O SP SZ	Φ_{FAR}, Φ_{PAR}	W_{FAR}
66	Intenzita ozáření FAR	SE/O SP SZ	E_{FAR}, E_{PAR}	$W_{FAR} \cdot m^{-2}$
67	Intenzita ozáření foton. toku	SE/O SP SZ	$E_{\mu mol}$	$\mu mol \cdot s^{-1} \cdot m^{-2}$
68	Váhovací koeficient FAR	SE/O SP SZ	k_{FAR}	...
69	Váhovací koeficient μmol	SE/O SP SZ	$k_{\mu mol}$...
70	Obsah rtuti Hg ve světelném zdroji	SE/O SP SZ	m_{Hg}	mg
71	Emise skleníkových plynů při výrobě sv. zdroje	SE/O SP SZ		Kg ekv. CO ₂
72	Emise skleníkových plynů při provozu sv. zdroje	SE/O SP SZ		Kg Ekv. CO ₂
73	Spotř. el. energie při provozu SZ	SE/O SP SZ	E_{SZ}	MWh/GWh
74	Max. hod. int. elektrického pole	SE/O SP SZ	E_{max}	$V \cdot m^{-1}$
75	Max. hod. magnetické indukce	SE/O SP SZ	B_{max}	T
76	Dominantní vl. délka EM vyzář.	SE/O SP SZ	f_{max}	Hz
77	Rychlost náběhu sv. zdrojů 90 %	DP SZ	$t_{90\%}$	s
78	Časový průběh náběhu sv. zdrojů	DP SZ		lm (s)
79	Časový průběh spektr. distribuce	DP SZ		nm (s)
80	Frekvence splývání	DP SZ	f_s	Hz
81	Min / Max amplitudy sv. toku	DP SZ	Φ_{max}, Φ_{min}	lm
82	Střední hodnota čas. změny Φ (t)	DP SZ	$\Phi_{stř}$	lm
83	Index mihání / flickr	DP SZ	f	-, %
84	Činitel vlnitosti u sv. zdrojů	DP SZ	k_f	-, %
85	Změna PP SV na poloze	DP SZ		
86	Oteplovací charakteristika	DP SZ	$v(t)$	°C / K
87	Max. teplota	DP SZ	v_{max}	°C
88	Závislosti PP na teplotě	DP SZ		
89	Dynamická VACH	DP SZ		

Tab. 2-44 Přehled uváděných parametrů svítidel.

№	Parametr/Veličina/Proměnná	Kategorie	Označení	Jednotka
1	Výrobce			
2	Název/typ/označení			
3	Symetrie svítidla podle křivek sv.	ST SV		
4	Jas	ST SV	L	
5	Maximální jas	ST SV	L_{max}	
6	Míra oslnění	ST SV	G	
7	Oslnění UGR, Unified Glare Ratio	ST SV	UGR	
8	Činitel odrazu reflektorů	ST SV	ρ	-, %
9	Činitel prostupu difuzorů	ST SV	τ	-, %

№	Parametr/Veličina/Proměnná	Kategorie	Označení	Jednotka
10	Křivky svítivosti	ST SV		
11	Třída ochrany před úrazem el. p	E SV		
12	Světelný tok vycházející ze sv.	ST SV	Φ_{sv}	lm
13	Světelný tok všech SZ ve SV	ST SV	Φ_{Σ}	lm
14	Provozní účinnost, LOR	ST SV	R_{LO}	-, %
15	Energetická náročnost svítidla	ST/E SV	l	lm.W ⁻¹
16	Příkon celého svítidla	E SV	P_{sv}	W
17	Činný příkon celého svítidla	E SV	P_{sv}	W
18	Účinník, cosφ	E SV	$cos\varphi$	-
19	Power Factor, PF	E SV	PF	-
20	Jmenovité napájecí napětí	E SV	U	V
21	Jmenovitý proud	E SV	I	A
23	Ochrana před vnikem pevných těles, prachu a vody - IP	PT SV	IP	IPxx
24	Maximální povrchová teplota SV	PT SV	v_{max}	°C
25	Mechanická odolnost IK	PT SV	IK	IKxx
26	Mechanická odolnost J	PT SV	$IK (J)$	J
27	Zóna prost. s nebezpečím výbuchu	PT SV		
28	Kategorie svítidel	PT SV		
29	Kategorie tech. SV pro všeob. osv.	PT SV		A,B,C,D,E
30	Činitel tvaru křivky svítivosti	PT SV	K_F	
31	Maximální svítivost	PT SV	I_{MAX}	cd
32	Střední svítivost	PT SV	I_{STR}	cd
33	Dělení SV podle K_F	PT SV		a,b,c,d,e,f
34	Dělení SV podle křivek BZ	PT SV	BZ	BZx/BZxx
35	Kategorie tech. SV pro směr. osv.	PT SV		A,B,C,D
36	Dělení SV podle šířky svazku	PT SV		S,M,W

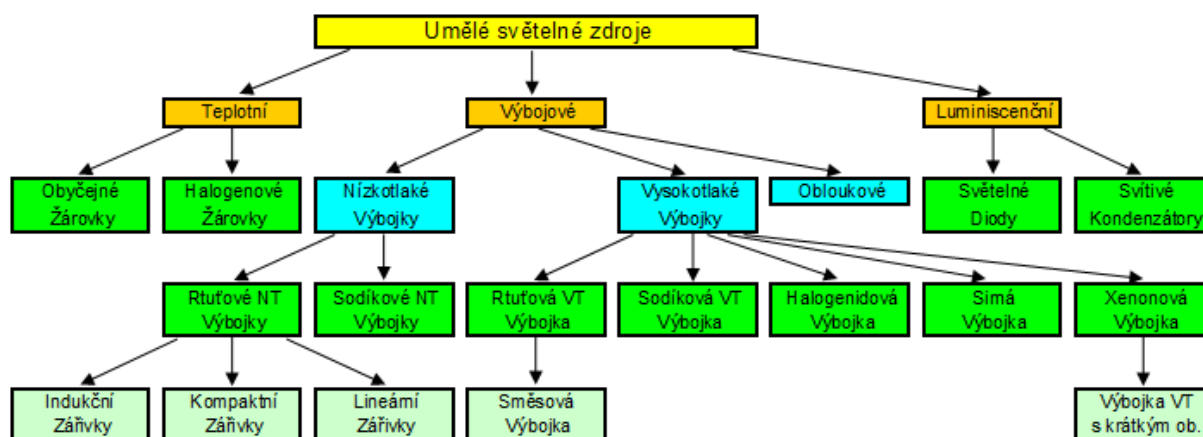
3 SVĚTELNÉ ZDROJE

Světelným zdrojem je myšlen každý objekt a látka každého skupenství, která vysílá směrem k pozorovateli část spektra elektromagnetické záření ve viditelné oblasti. V našem okolí v podstatě každý předmět, pokud tedy není naprostá tma, tvoří světelný zdroj a díky našemu zrakovému vjemu si uvědomujeme jeho existenci. Z tohoto pohledu lze rozdělit světelné zdroje na zdroje vlastní a nevlastní, kde vlastním zdrojem světla je objekt, v jehož vnitřní struktuře přímo dochází ke vzniku světla. Nicméně těchto objektů je v našem okolí minimum, většina z nich jsou světelné zdroje nevlastní, jenž světlo nevytvářejí, ale pouze ho odrážejí a rozptylují. Vlastní světelné zdroje lze ještě hlouběji dělit na zdroje přírodní a umělé. V následující *Tabulce 3-1* jsou uvedeni jednotliví zástupci a principy světelných zdrojů přírodních [5].

Tab. 3-1 Principy přirozeného vzniku světla (v přírodě) [5].

Zdroj světla	Princip	Příklad
Kosmická tělesa	Záření ionosféry, povrchu objektu, TJ fúze	Slunce, Jupiter
Chemické reakce	Uvolnění tepla a světla při chem. reakci, ion.	Hoření, spalování
Biologické zdroje	Emise svět. zář. při biologických pochodech	Medúzy, řasy
Přírodní el. výboje	Ionizace, disociace, zahřátí plyné atmosféry	Blesky
Tektonické jevy	Teplotní záření z materiálů zahřátých	Magma, láva
Fotoluminiscence	Vyzáření sv. fotonu - záchytem zář. UV, Rent	Luminofor
Radioluminiscence	Vyzáření sv. fotonu – záchytem α , β , γ , v , n	Luminofor, Čerenk.z

Nicméně daleko důležitější, než zdroje přírodní, jsou pro světelnou techniku světelné zdroje umělé, jenž takřka výhradně využívají přeměnu elektrické energie na světlo. V praxi používáme tři principy vzniku světla v těchto zdrojích, podle kterých se také dělí do tří velkých skupin – na světelné zdroje teplotní, výbojové a luminiscenční. Na *Obrázku 3-1* je znázorněno podrobnější dělení těchto tří skupin.



Obr. 3-1 Dělení umělých světelných zdrojů [5].

Osvětlení pomocí umělých světelných zdrojů představuje v dnešní době nezanedbatelnou část spotřeby elektrické energie. S tím souvisí také míra emisí a vypouštěných skleníkových plynů při výrobě potřebné elektrické energie na provoz těchto elektrických spotřebičů. Celosvětově připadá na osvětlení 19 % celkové vyrobené elektrické energie. Ve vyspělých zemích je tento podíl menší v rozsahu 5 až 15 % (pro rok 2009), nicméně v rozvojových zemích je pro osvětlování spotřebováno až 80 % místně vyrobené elektrické energie. A právě zde má největší význam hledat úspory v ekologicky šetrnějších variantách světelných zdrojů a svítidel, ve snižování jejich spotřeby a efektivnosti chodu osvětlovacích soustav. Dále je tato kapitola

dělena již na jednotlivé zástupce světelných zdrojů s uvedením jejich historického vývoje, popisu funkce, parametrů a vyráběných variantách, případně dalších zajímavostí a vlastností, které je možné využít pro tvorbu databázového systému a predikci jejich dalšího vývoje.

3.1 Obloukové světlo

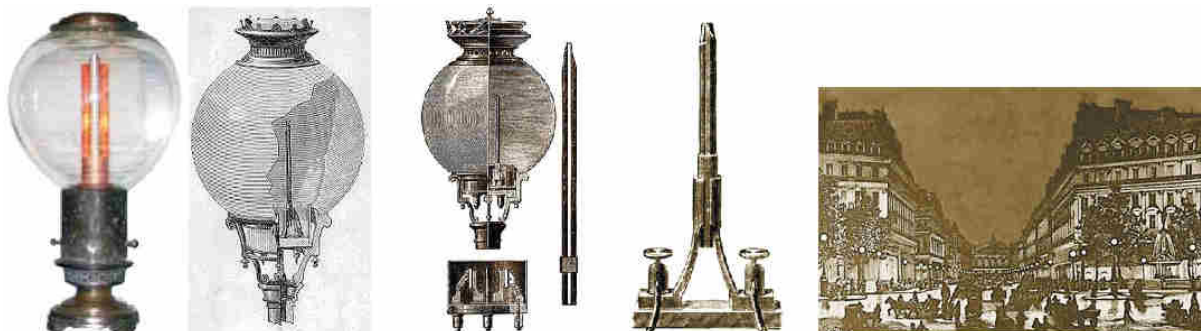
Tento umělý zdroj světla lze zařadit částečně do kapitoly výbojových světelných zdrojů, protože převážná část emitovaného světelného toku je vytvářena prostřednictvím výboje, respektive zářivou rekombinací ionizovaných a disociovaných molekul plynné atmosféry. Nicméně menší část světelného toku vzniká také tepelným vyzářením z konců elektrod (katodových skvrn) a především z atomů odpařeného materiálu elektrod v prostoru hoření oblouku. Malým podílem na celkovém světelném toku, ale i bohaté spektrální distribuci přispívají také chemické exotermické reakce (oxidace, sulfidace,...) odpařeného materiálu elektrod s okolním plynným prostředím. Právě kvůli nejednoznačnému určení skupiny stojí samostatně.

Obloukové světlo je dnes již výjimečně používaný umělý zdroj světla. Nicméně byl to první umělý zdroj, realizovaný člověkem, který umožňoval přeměnu elektrické energie na světlo a měl praktické využití. Jeho praktické využití v dnešní době v podstatě neexistuje, nicméně je to předchůdce velké skupiny dnešních zdrojů, které z této původní koncepce vycházejí.

Již roku 1842 L. Foucault vyrobil první použitelnou obloukovou lampu s uhlíkovými elektrodami. Ve statickém režimu dokázal oblouk po zapálení hořet pouze několik minut, protože postupně docházelo k „odhořívání“ elektrod. Oblouk se protahoval až do okamžiku, kdy ztráty do okolí převýšily příkon a tím hoření zaniklo. Postupně bylo používáno několik mechanismů s postupným posuvem uhlíkových elektrod, z nichž nejsložitější bylo použití hodinového strojku. Prostorový tvar oblouku bylo do jisté míry možné měnit pomocí přiložených permanentních magnetů. Nicméně samotná účinnost tohoto zdroje byla velmi nízká a pohybovala se okolo 4 lm.W^{-1} . Ve vytvářeném spektru byly především zastoupeny krátké vlnové délky. A převážná část vstupní elektrické energie se přeměnila na ohřev vzduchu a IR širokospektrální radiací, malé části také v UV oblasti. Až teprve roku 1878 si P. N. Jablotkov povšiml zvýšení světelného toku a bohatšího spektra přidáním solí a organických látek do materiálu elektrod. Tím vznikla tzv. Jablotkovova svíčka, ve které se do uhlíkových elektrod přidával kaolin. Ukázka je uvedena na *Obrázku 3-2*. A na *Obrázku 3-3* je znázorněno moderní řešení obloukových lamp. Roku 1882 F. Křižík zdokonalil regulaci lamp a umožnil tak jejich celonoční provoz. A roku 1887 bylo u nás použito první veřejné osvětlení s obloukovými lampami. Ve 20. století, i po vynálezu a komerčního uplatnění dalších světelných zdrojů, docházelo k neustálému vylepšování parametrů obloukových lamp. Uhlík byl nahrazen kompozity a keramickými materiály, z nichž nejlepších parametrů dosahovaly oxidy chromu a titanu. V 80. letech 20. století byl pro elektrody využit materiál chromit a díky němu bylo dosaženo až dvacetkrát vyšších jasů, než měly původní uhlíkové elektrody. Měrný výkon se vyšplhal až ke 20 lm.W^{-1} a spektrum bylo spojitě [5, 39].

V současné době jsou obloukové lampy používány ve starých promítacích zařízeních a bodových zdrojích, odkud je ovšem postupně vytlačují xenonové výbojky a výbojky vysokotlaké s krátkým obloukem. Jak již bylo zmíněno, provoz těchto zdrojů je zatížen rychlým úbytkem materiálů elektrod, přičemž katoda ubývá asi pětikrát rychleji, pokud je pro napájení zvolen stejnosměrný proud. Stejně jako u všech výbojových zdrojů je kvůli inverzní VACH výboje nutné provádět stabilizaci pracovního bodu. U střídavého napájení je stabilizace možné dosáhnout v sérii zapojenou tlumivkou. Při stejnosměrném napájení je používán rezistorový předřadník, na kterém vznikají další výkonové ztráty a účinnost zdroje se dále snižuje. Teplota

oblouku závisí na materiálu elektrod a velikosti procházejícího proudu. Teplota vzniklého plazmatu dosahuje řádu tisíců °C, což klade vysoké nároky na zhotovení svítidla, aby vyhovovalo požární bezpečnosti. Silné emise záření v oblasti UV kladou zase nároky na vytvoření účinných filtrů pro jeho odfiltrování [5, 39, 40].

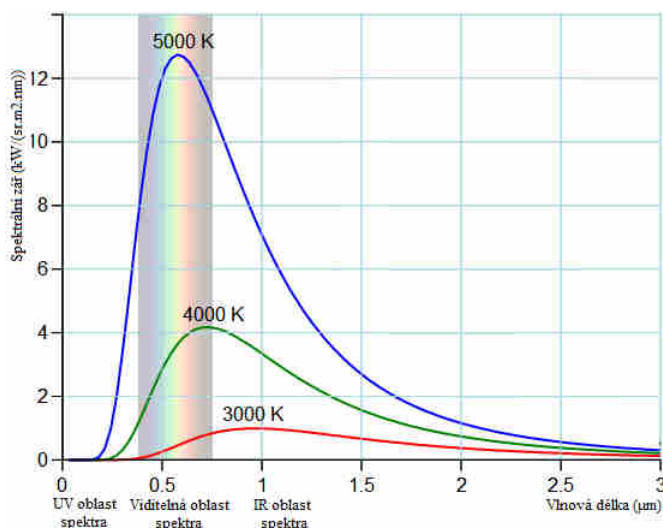


Obr. 3-2 Jabločkovova svíčka [40].



Obr. 3-3 Oblouková lampa [39].

3.2 Teplotní světelné zdroje



Obr. 3-4 Spektrum vyzařovaného záření černých těles podle zákona Plancka [41].

Každý hmotný objekt s teplotou vyšší jak cca 650 °C vyzařuje záření také v oblasti světla. Spektrální distribuce tohoto záření je vždy spojitá a řídí se podle Planckova vyzařovacího zákona. Takže teplotním (inkadescenčním) zdrojem může být jakýkoliv žhavý předmět. Příkladem může být i oheň, kde kromě žhavého částečně ionizovaného plynu, v kterém probíhají zářivé rekombinace, poletují i velmi jemné částice žhavého uhlíku, jenž svítí. Příklad spektrální

distribuce vyzařování černých tělech podle Planckova zákona při různých teplotách je uveden na *Obrázku 3-4*. V oblasti umělých světelných zdrojů v dnešní době používáme dva zástupce – obyčejnou a halogenovou žárovku [41, 42].

3.2.1 Obyčejná žárovka

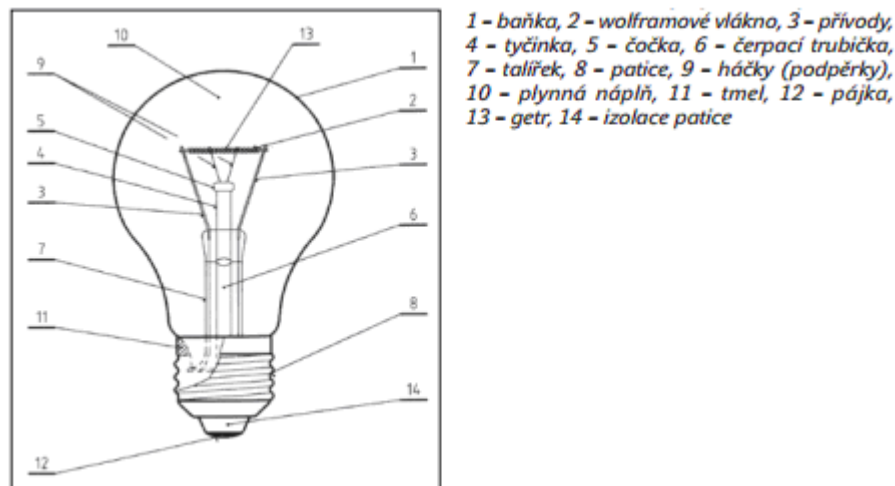
Obyčejná žárovka patří do skupiny teplotních (inkadescenčních) světelných zdrojů. Je po obloukové lampě historicky druhým nejstarším světelným zdrojem a v dnešní době stále celosvětově nejrozšířenějším. Nicméně kvůli krátké době života a nízké účinnosti je tento zdroj postupně vytlačován zdroji moderními.

První pokusy vyrobit žárovku sahají do počátku 19. století, kdy se experimentovalo s rozžhaveným platinovým drátkem ve vakuu nebo vzduchu při sníženém tlaku. Nicméně teprve T. A. Edison roku 1879 využil pro tvorbu vlákna zuhelnatělá bambusová, palmová a bavlněná vlákna v baňce s vyčerpaným vzduchem. Tím se snížily výrobní náklady a světu byla poprvé nabídnuta komerčně prodejní žárovka. Nicméně život tehdejších žárovek se počítal na desítky hodin a kvůli dosažitelné nízké teplotě uhlíkového vlákna takováto žárovka dosahovala měrného výkonu pouze $2,5 \text{ lm} \cdot \text{W}^{-1}$. Život těchto zdrojů mohl být při sníženém napětí řádově vyšší [5].

Z principu konstrukce je to nejjednodušší a také nejlevnější světelný zdroj. Základ tvoří žhavené wolframové vlákno, které se vyvinulo nejprve z platinového, uhlíkového a tantalového. Podle velikosti procházejícího proudu je průměr vlákna v řadu od desítek po stovky μm . Kvůli své značné délce bývá stočeno do jednoduché a dnes převážně i do dvojité šroubovice. V žárovce je připevněno ke skleněné patce pomocí dvou přírodních zpravidla niklových vodičů a molybdenových podpěrných háčků. Ve skleněném zátavu bývají přírodní vodiče povrstveny mědí s přídavkem bórů kvůli stejné teplotní roztažnosti jako má sklo. Poté přírodní vodiče přecházejí ve slitinu mědi a niklu s vyšší rezistivitou a nízkou teplotou tání, která tvoří tavnou pojistku. Nutnost tavné pojistky v každé žárovce je vyžadovaná z důvodu možného vzniku rychlých přechodových jevů v případě mechanického přerušení nebo přetavení žhavicího vlákna. Tento děj je natolik rychlý, že se v reaktanci (indukčnosti) napájecí cesty k žárovce vytvoří podle indukčního zákona indukované napětí opačné polarity, jenž se přičte k napájecímu. Na přerušeném vláknu žárovky se objeví vysokonapěťový impuls, který se díky vysoké elektrické vodivosti plynné náplně žárovky přemění na výboj a dojde k jeho rozšíření mezi přírodní vodiče a následně ke zkratu.

Žárovky, až na výjimky, bývají opatřeny Edisonovým závitem v provedení E14, E27 a E40. Ochranný obal – skleněná baňka z měkkého sodno-vápenatého skla hermeticky uzavírá prostor vnitřní plynné náplně. Až na výjimky žárovek nižšího jmenovitého výkonu „plněné“ vakuem, je vždy používán jako náplň argon nebo krypton, jenž je pomocí fosforového getru naneseném v malém množství na vláknech zbaven kyslíku, vodních par a vodíku. Při provozu je vnitřní tlak baňky srovnatelný s atmosférickým, takže není potřebné provádět tak kvalitní provedení zátavů, jako v případě vakuového provedení. Výhodou plynné atmosféry argonu je snížený odpar vlákna a při použití kryptonu je odpar asi ještě o 10 % nižší, což umožňuje zvýšit teplota o cca 50 K a tím dosáhnout až o 5 % vyšší hodnoty měrného výkonu. Nicméně cena kryptonu je značně vyšší, takže toto vylepšení žárovek nemá až několik výjimek ekonomické uplatnění. Nízká tepelná kapacita a tepelná vodivost této náplně minimalizuje tepelné ztráty prouděním vnitřní atmosféry žárovky na minimum, malá část vytvořeného tepla odchází vedením přes přívody a patici, nicméně ve výsledku se přes 90 % energie tepelné energie vlákna dostává do okolí sáláním. Protože má plynná náplň z inertních plynů nízkou měrnou rezistivitu, docházelo by během

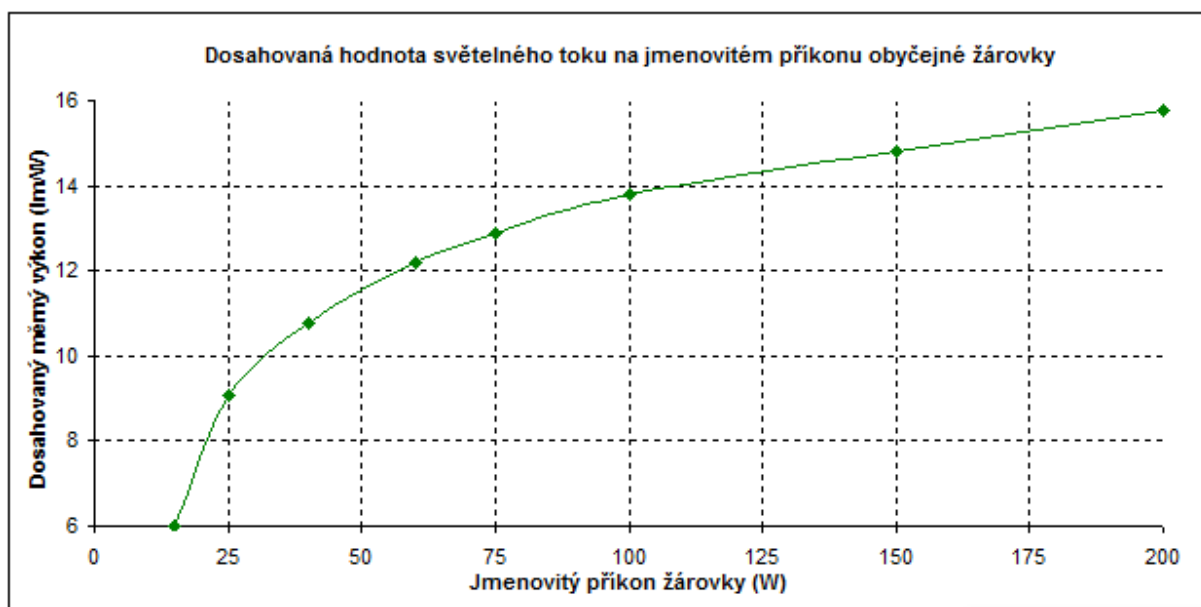
provozu k mezizávitovým výbojům, či dokonce zkratům. Proto je vždy k plynné náplni z inertních plynů přidán dusík, který sice zvyšuje tepelnou vodivost atmosféry, ale přispívá k bezpečnému provozu. Popis konstrukce obyčejné žárovky je uveden na následujícím Obrázku 3-5 [5, 43].



Obr. 3-5 Konstrukce obyčejné žárovky [43].

3.2.1.A Provozní parametry žárovek

Žárovky mohou být napájeny stejnosměrným i střídavým elektrickým proudem. Uváděným katalogovým údajem je jejich jmenovité napětí a jmenovitý příkon. Dále je výrobcem garantovaná hodnota dosahovaného měrného výkonu, který je závislý na jmenovitém příkonu. Tuto závislost pro obyčejné žárovky plněné argonem znázorňuje graf na Obrázku 3-6.



Obr. 3-6 Závislost dosahovaného měrného výkonu na jmenovitém příkonu u žárovek [5].

U žárovek na síťové napětí 230 V je teplota vlákna až na malé odchylky vždy závislá na jmenovitém příkonu. Tato teplota se pohybuje v rozsahu přibližně 2 650 až 2 900 K, u žárovek plněných kryptonem a u žárovek na malá napětí může být hodnota vlákna až 2 950 K. Dosahovaná hodnota měrného výkonu je přímo závislá na této teplotě a v závislosti na příkonu, provedení tvaru a materiálu ochranné baňky se pohybuje v rozmezí 3 až 20 $\text{lm}\cdot\text{W}^{-1}$. Pro žárovky s hodnotou jmenovitého příkonu do 20 W je rozsah dosahovaného měrného výkonu od 3 do

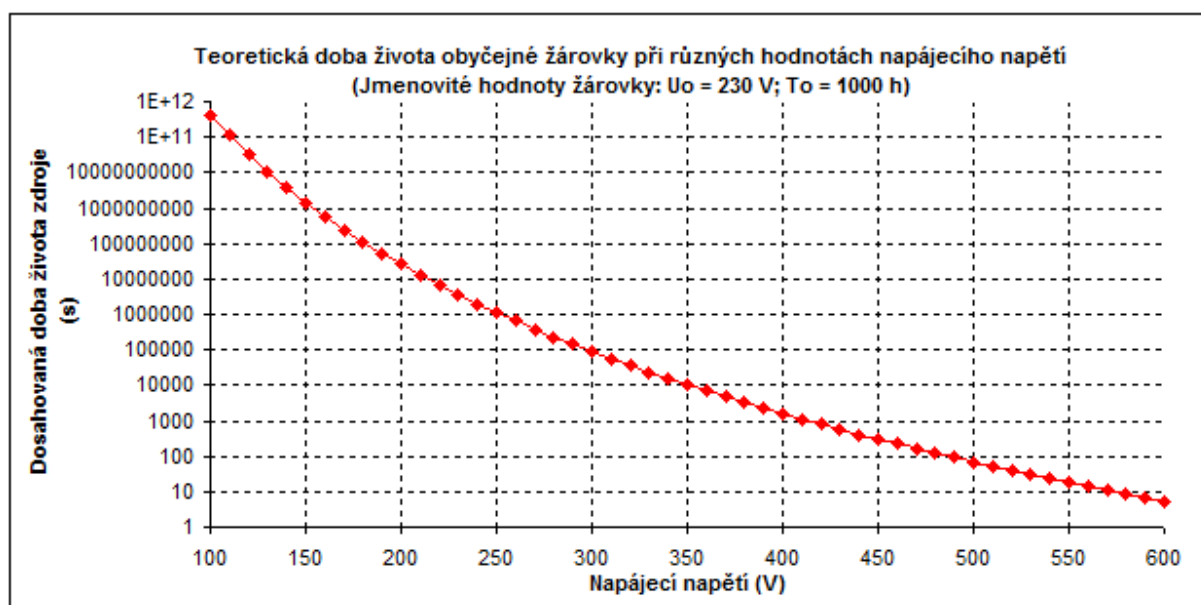
8 lm.W^{-1} . V příkonovém rozsahu 20 až 100 W je maximální hodnota měrného výkonu 16 lm.W^{-1} . A nad jmenovitým příkonem 100 W mohou některé žárovkové zdroje dosahovat hodnot až 20 lm.W^{-1} . Teoreticky by tato hodnota mohla se vzrůstající teplotou žhavicího vlákna stoupat až do cca 50 lm.W^{-1} , kdy dojde k jeho roztavení vlákna z wolframu při teplotě 3 695 K. Nicméně již od teplot zhruba 2 000 K dochází k odparu materiálu vlákna, který se usazuje na chladnější baňce. Tím dochází ke snížené propustnosti baňky, wolframový drát se zužuje, mírně se zvyšuje jeho rezistivita, až dojde k přerušení. Rychlost odparu, související s životem žárovky, je značně závislá na teplotě a ještě více, až se 14. mocninou, na napájecím napětí. Proto je tento zdroj značně citlivý na přepětí v síti, které přispívají ke snížení doby života. Tato závislost je popsána na následujícím vztahem (3-1) [5, 7].

$$\frac{T}{T_0} = \left(\frac{U}{U_0} \right)^{-14}, \quad (3-1)$$

kde T je život žárovky napájené jmenovitým napětím U ,

T_0 je život žárovky při napájení napětí U_0 .

Graficky vyjádřená teoretická doba života obyčejné žárovky při různých hodnotách napájecího napětí je uvedena na následujícím *Obrázku 3-7*. Jako výchozí hodnoty jsou brány jmenovité parametry žárovky na jmenovité napětí 230 V se střední dobou života 1 000 h. Jak ukazuje grafická závislost, tak při nižších hodnotách napájecího napětí lze značně prodloužit dobu života. Například při snížení napájecího napětí na 200 V je střední doba života zdroje přibližně desetkrát delší. Naopak při zvýšeném napájecím napětí 250 V je střední doba života pouze 300 h a při napětí 500 V zhruba 100 s. Tyto hodnoty jsou čistě teoretické, i když při praktickém ověřování přibližně odpovídají. Nicméně jsou to hodnoty pro ustálený stav. Byť i krátkodobá připojování teplotních zdrojů na napájecí zdroje se zvýšeným napětím bohužel není možné, protože vzniklý přechodový stav při nízké hodnotě rezistivity vlákna za studeného stavu způsobí nepřipustně vysoké hodnoty počátečního procházejícího proudu. Takže ihned dochází k přepálení vlákna.



Obr. 3-7 Teoretická doba života žárovky při různých hodnotách napájecího napětí [5].

Světelný tok poskytovaný tímto zdrojem se pohybuje v rozmezí 20 až 5 600 lm. Svítivost, pokud je jako katalogový údaj uvedena, se pohybuje v rozmezí 20 až 8 200 cd. Žárovka, jakožto teplotní zdroj, vždy disponuje parametrem „teplota chromatičnosti“ (případně parametrem „ekvivalentní teplota chromatičnosti“), která se pohybuje v rozmezí 2 650 až 2 950 K. Standardně udávanou hodnotou je však 2 850 K. Nicméně při použití například opálové baňky je barva světla žárovky v trichromatických souřadnicích mírně vychýlena od křivky teplotních zdrojů a mluvíme pak o náhradní teplotě chromatičnosti. Jelikož jsou teplotní zdroje brány jako vztažné pro výpočet indexu podání barev, tak žárovky dosahují ideální hodnoty 100. Prakticky vzhledem k mírně spektrálně závislé propustnosti baňky, především jejímu zčernání během provozu, dochází ke snížení této hodnoty na zhruba 99. Jmenovitý příkon žárovkových zdrojů je mezi 3 až 500 W. Pro síťová napětí 220 až 240 V je dostupná výkonová řada v rozmezí 3 až 500 W. Příkladem mohou být i speciální žárovky se jmenovitým příkonem až 75 kW. Pro malá napájecí napětí 1,5 až 60 V je dostupný sortiment se jmenovitým příkonem až do 100 W. Hodnota odebíraného proudu v závislosti na napěťové napájecí hladině a jmenovitém příkonu se pohybuje mezi 20 mA a 2,5 A. Katalogově uváděná střední doba života je u běžných žárovek na síťové napětí 1 000 h a u žárovek na napětí nižší až 2 500 h. Kromě nejrozšířenějších patič u těchto zdrojů se závitem E14, E27 a E40 jsou dostupná provedení s patič B15d; B22; B22d; BA15d; P28s; S14 a S19. Provedení závitových i ostatních patič je znázorněno na *Obrázku 3-8*. Na *Obrázku 3-9* jsou příklady různého provedení materiálu a na *Obrázku 3-10* tvaru baňek.



Obr. 3-8 Provedení patič u žárovek [5]

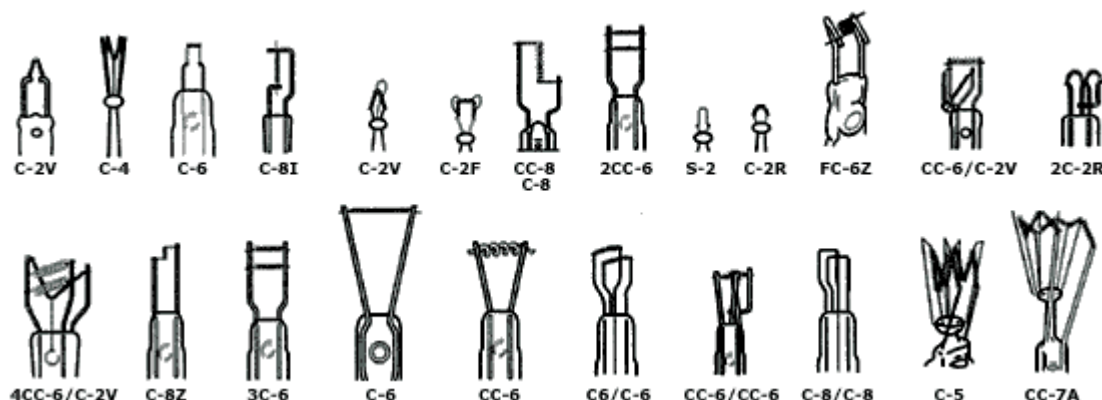


Obr. 3-9 Různé provedení povrchů baňek žárovek [5].



Obr. 3-10 Provedení různých tvarů baňek žárovek a žárovky pro speciální použití [5].

Náčrt nejrůznější systémů provedení a uchycení vlákna obyčejných žárovek je uveden na Obrázku 3-11.



Obr. 3-11 Náčrty systémů provedení a uchycení vlákna halogenové žárovky [44].

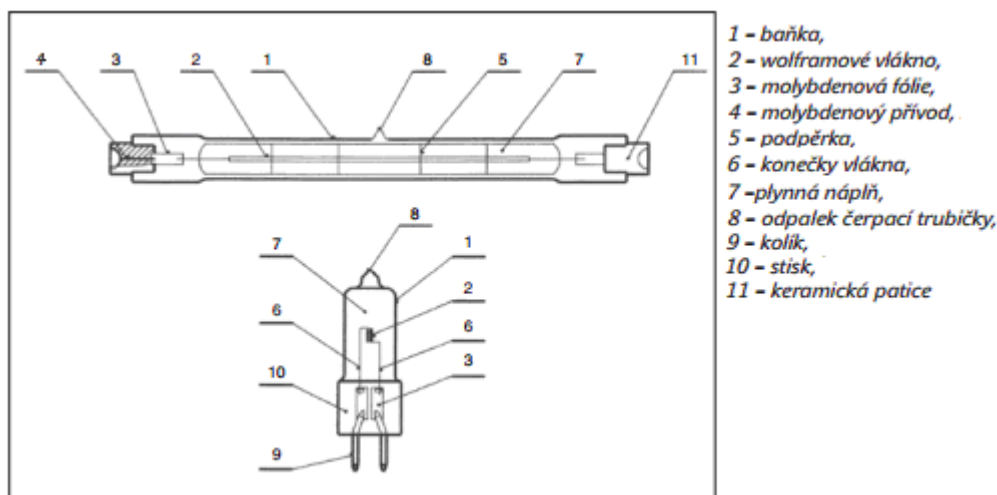
3.2.2 Halogenová žárovka

Halogenová žárovka je moderním a inovovaným řešením obyčejné žárovky. Jsou u ní do jisté míry odstraněny problémy s černáním baňky, značně je prodloužen život a zvýšena účinnost. Dnes je tento zdroj neustále intenzivně používán a v některých aplikacích, například v automobilovém průmyslu, bude mít své dominantní postavení i nadále. Postupně se zákazem prodeje obyčejných žárovek jsou vyráběny jejich ekvivalentní efektivnější halogenové „náhrady“. Své prozatím dominantní postavení si stále drží v reflektorových svítidlech v lineárním provedení. Také pro bodová osvětlování malých objektů jsou i dnes převážně používány halogenové žárovky s integrovanými dichroickými reflektory.

Halogenová žárovka byla vyvinuta z obyčejné žárovky až teprve v roce 1959, kdy se experimentovalo s materiály snižujícími odpar vlákna žárovky. Tyto vlastnosti byly nejprve pozorovány u bromu a jódu. Nicméně bylo nutné změnit celou konstrukci světelného zdroje. Namísto dříve používaných čistých halogenových prvků je dnes používaná směs sloučenin methylbromidu a methyljodidu. Aby skutečně došlo ke snížení rychlosti odparu vlákna a prodloužení života zdroje, musejí být splněny podmínky pro tzv. halogenový cyklus. Je to několik chemických a termochemických reakcí, jenž probíhají v uzavřeném prostoru halogenové žárovky. Prvním předpokladem pro snížení odparu je zvýšení vnitřního tlaku plynné atmosféry. Z původně přibližně atmosférického tlaku u obyčejných žárovek došlo k jeho zvýšení na několika násobek při ustáleném provozním stavu. Jako plynná atmosféra se používá především krypton, někdy s přídavkem xenonu, a u žárovek na síťová napětí samozřejmě opět dusík pro snížení vzniku výbojů mezi závitů. Do prostoru je také umístěno malé množství halogenových sloučenin. Úspěšný halogenový cyklus také spočívá ve změně konstrukce této žárovky. Stěna baňky již není vyráběna z měkkých vápenatých skel, ale z tvrdého křemičitého skla, jenž odolává vysokým teplotám a tlakům. Stěna baňky je umístěna co nejblíže k povrchu vlákna, někdy až na vzdálenost několik mm. Dochází k jejímu silnému zahřívání a pro správnou funkci musí mít teplotu minimálně 250 °C. Při odparu wolframu z vlákna putují jeho páry k místům s nižší teplotou (směrem k baňce) a přibližně ve vzdálenosti poklesu teploty na 1 700 K dochází k chemické reakci mezi halogeny a wolframem za vzniku bromidů nebo jodidů wolframu. Vzniklý halogen putuje zpět k vláknu, kde se díky panujícím vysokým teplotám opět rozkládá a čistý wolfram se zpět napařuje na vlákno a částečně také dochází ke zvýšení koncentrace par v okolí vlákna, což zabraňuje dalšímu odparu. Při provozu žárovek tímto způsobem nedochází k černání baňky

vlivem usazování napařeného wolframu a také je možné zvyšovat teplotu vlákna na zhruba 3 000 až 3 100 K, někdy v extrémních případech až na 3 300 K [5].

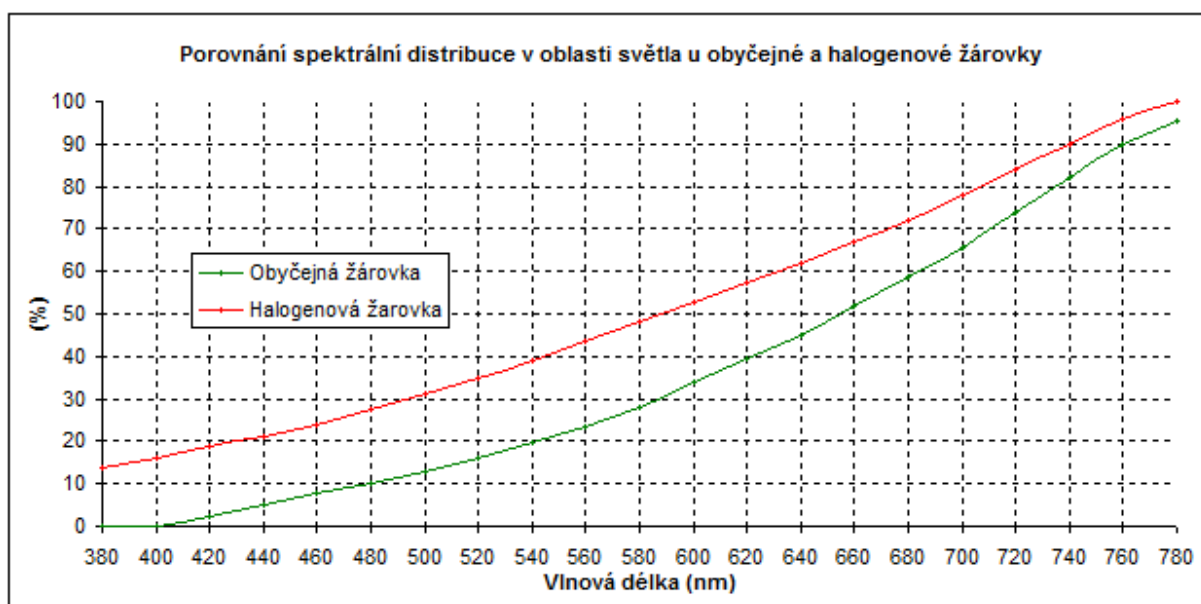
Vlákno je podobně jako u obyčejných žárovek stočeno do jednoduché nebo dvojité šroubovice podřepěné wolframovými háčky. Molybden je v těchto světelných zdrojích používán na výrobu přívodů, kde společně s mědí a niklem tvoří zátavy do skla. Halogenové žárovky je možné provést v tzv. dvoustikovém (dvouzátavovém) nebo také v jednostikovém (jednozátavovém) provedení. Popis konstrukce halogenových žárovek v těchto provedeních je uveden na *Obrázku 3-12*.



Obr. 3-12 Konstrukce halogenové žárovky [45].

3.2.2.A Provozní parametry halogenových žárovek

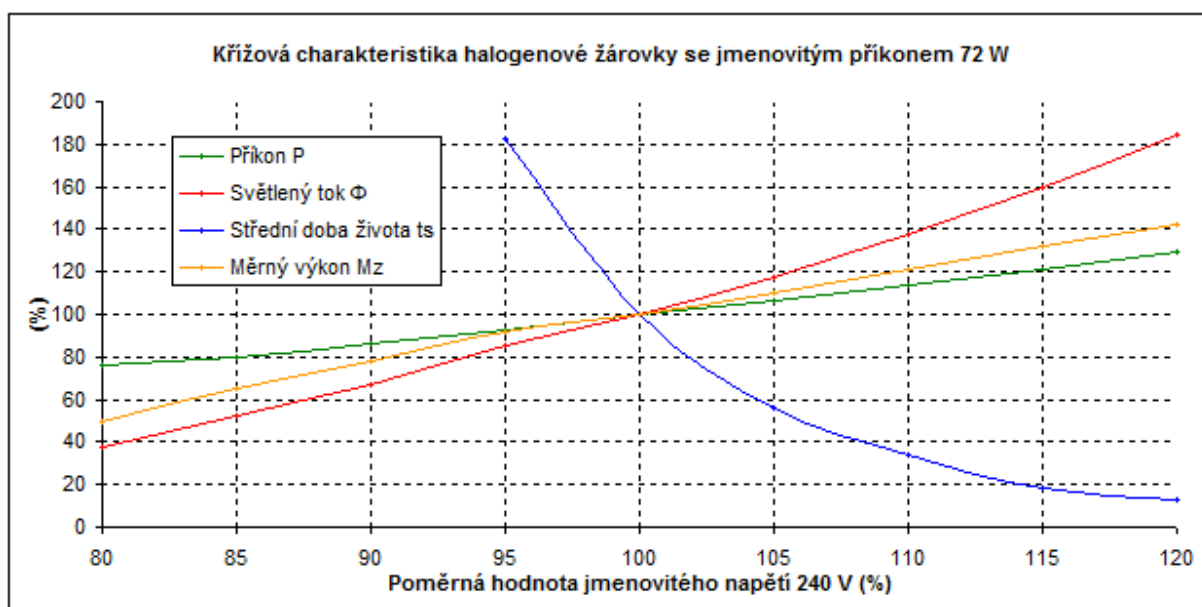
Stejně jako u obyčejných žárovek jsou hlavními katalogově uváděnými parametry halogenových žárovek velikost jmenovitého napájecího napětí a jmenovitý příkon. Dnes existuje velké množství aplikací pro nízkonapětové (na malé napětí) halogenové žárovky pro napětí 12 nebo 24 V v dostupných výkonových řadách od 5 do 400 W s dosažitelným měrným výkonem přibližně od 10 do 25 lm.W⁻¹.



Obr. 3-13 Porovnání spektrální distribuce u obyčejné a halogenové žárovky.

Pro síťová napájecí napětí do 240 V jsou dostupné varianty do jmenovitého příkonu 10 kW. Tyto zdroje dosahují hodnot měrného výkonu až $25 \text{ lm}\cdot\text{W}^{-1}$. Střední doba života u zdrojů na síťové napětí je zpravidla v rozsahu 2 000 až 4 000 h, u zdrojů na malá napětí až 5 000 h. Existují varianty určené pro fotoprůmysl, ve kterém halogenové žárovky dosahují měrného výkonu až $30 \text{ lm}\cdot\text{W}^{-1}$ a teploty vlákna až 3 300 K. Zde podobně jako u obyčejných žárovek je tato vysoká účinnost vykoupena razantním snížením střední doby života zdroje na pouhých 15 h. Porovnání spektrální distribuce obyčejné a halogenové žárovky je uvedeno na *Obrázku 3-13* [5, 45].

Stejně jako u obyčejných žárovek mají i žárovky halogenové značnou závislost střední doby života na velikosti napájecího napětí. I když halogenový cyklus prodloužování doby života napomáhá, doby prodloužení života v závislosti na napájecím napětí se to příliš netýká. Grafické závislosti příkonu, produkovaného světelného toku, vypočtené hodnoty měrného výkonu a střední doby života v poměrných hodnotách v závislosti na velikosti napájecí napětí jsou znázorněny pomocí křížové charakteristiky na následujícím *Obrázku 3-14*.



Obr. 3-14 Křížová charakteristika halogenové žárovky na síťové napětí o jm. příkonu 72 W.

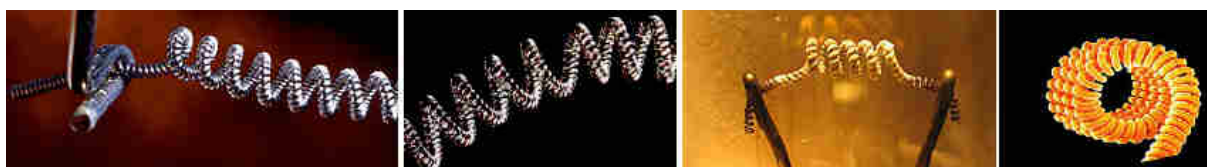
Index podání barev se u těchto světelných zdrojů pohybuje v rozsahu 95 až 100. Nižší hodnoty jsou převážně u halogenových žárovek vybavených dichroickými vrstvami, nanesenými přímo na povrchu baňky nebo trubice, jež mají za úkol navrátit část vyzářeného tepelného IR záření zpět směrem k vláknu a zlepšit tak energetickou bilanci a účinnost halogenového cyklu. Díky tomuto opatření je život zdroje prodloužen zhruba o 10 % a hospodárnost provozu až o 35 %.

Pokud halogenová žárovka tvoří náhradu obyčejné žárovky, využívá i stejný systém patič v provedení se závitem E14, E27 a E40. Nicméně u ostatních halogenových žárovek je využíváno speciálních patič pro tento typ zdroje vyvinutých. Vysoká provozní teplota povrchu zdroje i patice v kombinaci s velkými protékajícími proudy vedla výrobce k vytvoření patič s nízkým úbytkem napětí, vysokou mechanickou pevností a malým přestupem tepla. Byly tedy vyvinuty celé řady patič, z nichž nejpoužívanější jsou: B15; B22; Fa4; G4; G38; G53, G9, GU10; GU4; GU5,3; GX16; GX5,3; GY16; GY9,5; GZ10; GZ4; GZ6,35; R7s. Na ukázkou jsou halogenové žárovky nejrůznějšího provedení s uvedením typu použité patice znázorněny na následujícím *Obrázku 3-15*.

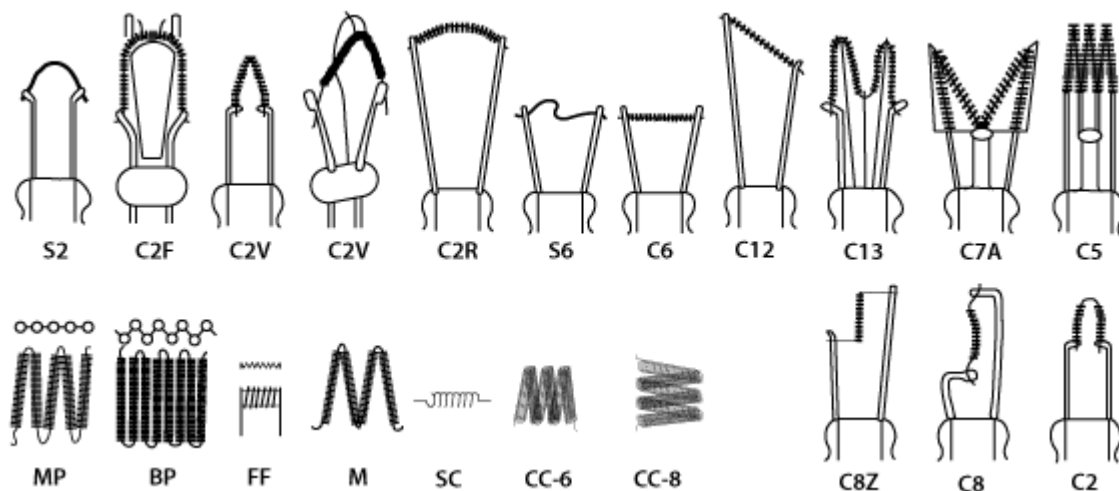


Obr. 3-15 Provedení halogenových žárovek [5].

Detail provedení a uchycení vlákna u halogenových žárovek je znázorněno na Obrázku 3-16 a náčrt nejrůznějších systémů provedení a uchycení vlákna na Obrázku 3-17.



Obr. 3-16 Detail provedení vlákna u halogenové žárovky.



Obr. 3-17 Náčrty systémů provedení a uchycení vlákna halogenové žárovky [44, 46].

Hlavní výhodou používání halogenových žárovek je jejich vyšší účinnost přeměny elektrické energie na světlo v porovnání s obyčejnými žárovkami. Stejně jako všechny teplotní zdroje poskytují spojité spektrum s vysokými hodnotami indexu podání barev. Díky halogenovému

cyklu nedochází během jejich technického života k černání baňky a pokles světelného toku ke konci života zdroje je menší jak 5 % v porovnání s počátečním. A také střední délka života je několikanásobně vyšší, než u obyčejných žárovek. Své uplatnění dnes nacházejí především jako náhrada původních žárovek a v automobilovém průmyslu, kde je využíváno žárovek na malá napětí, jejichž sortiment je v dnešní době značný. Další výhodou je v jejich kompaktním řešení a v integraci světelného zdroje a optického systému, nejčastěji reflektoru, do jednoho objektu (svítidla). Pro bodová osvětlování jsou s oblibou používány reflektory s dichorickou vrstvou, která snižuje tepelnou zátěž osvětlovaného objektu na minimum.

Nevýhodou těchto zdrojů je nemožnost nebo omezená možnost jejich stmívání, jelikož při nižších hodnotách teploty baňky nemůže správně fungovat halogenový cyklus. Dále pak pro zdroje na malá napájecí napětí je nutné používat elektronické nebo elektromagnetické napájecí transformátory. V porovnání s obyčejnými žárovkami jsou jejich výrobní náklady vyšší a vzhledem k dostupnosti dnešních moderních zdrojů – především světelných diod, které je převyšují takřka ve všech poskytovaných parametrech, hrozí v budoucnu naprosté vytracení teplotních zdrojů z některých aplikací osvětlování. Dále jakožto teplotní zdroje produkují velké množství odpadního vysokopotencionálního tepla, které je nutné odvést a také používat takové svítidla, aby nemohlo dojít k porušení požární bezpečnosti. Za zmínku ve výčtu nevýhod těchto zdrojů patří malé emise ultrafialového záření v oblasti UVA i UVB a opatrnost při manipulaci s těmito zdroji. Jejich vnitřní tlak může být vysoký i za pokojových teplot, takže při náhodném rozbití může dojít k ohrožení osob a v případě destrukce během provozu musejí být vnitřní části svítidel schopny i tuto případnou explozi ustát. Při manipulaci je také důležité nedotýkat se povrchu světelných zdrojů holou rukou, protože mastnota a pot může porušit strukturu křemičitého skla a v důsledku toho může dojít ke snížení života zdroje.

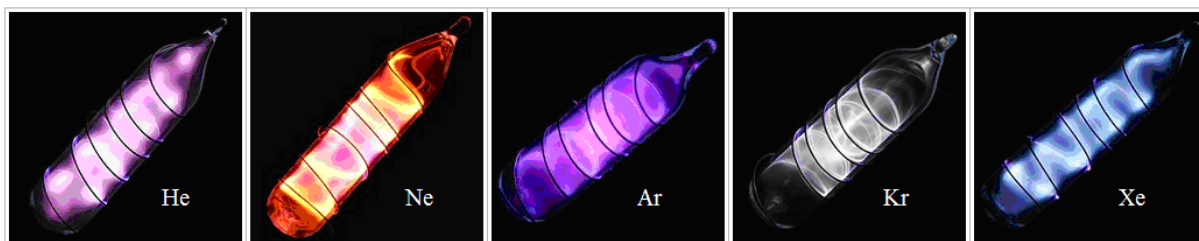
3.3 Výbojové zdroje

Světelné zdroje zařazené do této skupiny produkují světlo procesy, jenž souvisejí průchodem elektrického proudu přes prostředí obsahující páry nebo plyny. Podle velikosti a charakteru procházejícího proudu a výsledného charakteru výboje můžeme tyto zdroje rozdělit na doutnavé, obloukové, vysokofrekvenční nebo impulsní. Většina dnešních výbojových zdrojů pracuje s tzv. kladným sloupcem, kde plyny nebo páry kovů se vlivem procházejícího proudu a elektrického pole ionizují a poté zářivě rekombinují. Některé výbojky také používají luminofory, jenž jsou buzené z vysokoenergetického záření. Nemalým příspěvkem především u vysokotlakých výbojek do celkové produkce světelného toku jsou elektrody hořáku nažhavené na vysokou teplotu.

Dále je možné výbojové zdroje dělit podle vnitřního tlaku uváděného při pokojové teplotě. Provozní tlak může být až o několik řádů vyšší. Podle tlaku je možné výbojové zdroje dělit do tří skupin. Zdroje s nejnižším tlakem, který je v řádů jednotek až tisíců Pa, nazýváme nízkotlaké, často také označené zkratkou NT nebo LP (z angl. Low Pressure). Do této skupiny lze zařadit nízkotlaké sodíkové výbojky a nízkotlaké rtuťové výbojky, nebo-li zdroje všeobecně nazývané „zářivky“. Také je zde možné uvést některé druhy nízkotlakých plynových trubíc a některé druhy doutnavek. Zdroje druhé skupiny mají vnitřní tlak hořáků řádově srovnatelný s atmosférickým, tedy v řádů desítek až stovek kPa, označujeme je zkratkou VT nebo HP (z angl. High Pressure). Řadí se sem vysokotlaká sodíková výbojka, vysokotlaká rtuťová výbojka, starší provedení výbojek halogenidových a výbojky směšové. Někdy jsou také zvlášť uváděnou skupinou výbojky s velmi vysokým tlakem, jejichž vnitřní provozní tlak může být až v řádů jednotek MPa. Do této skupiny se řadí výbojky s krátkým obloukem, xenonové výbojky, výbojky sirné a některá

moderní provedení halogenidových výbojek. Jejich velmi vysoký vnitřní tlak a teplota umožňuje dosáhnout výslednou bohatou spektrální distribuci a aktivaci nových chemických sloučenin.

Pro zářivé plynové trubice, ale také běžně jako startovací plyn se ve výbojových zdrojích často používají všechny inertní plyny, až na výjimku radonu. Světlo, které produkují při nízkém vnitřním tlaku trubic, je znázorněno na následujícím *Obrázku 3-18*.



Obr. 3-18 Příklad výbojů v interních plynech [47].

Kromě interních plynů bývají ve výbojových zdrojích a ostatních světelných trubicích použity také plyny z naší okolní atmosféry ve velmi čisté podobě. Jedná se především o dvojmocné molekuly kyslíku, dusíku, vodíku a deuteria, ale také páry kovů.

Tab. 3-2 Čárová spektra inertních a dalších plynů, par kovů [48].

	Čárové spektrum	Barva světla
He		
Ne		
Ar		
Kr		
Xe		
N ₂		
O ₂		
H ₂		
Hg		
Na		

Každý z těchto plynů a par při vybuzení a zpětné rekombinaci vytváří záření se specifickou nespojitou spektrální distribucí. Jednotlivé produkované vlnové délky odpovídají energetickým stavům elektronů v obalu. Produkovaná intenzita je dána pravděpodobností výskytu daných stavů. U prvků s vyšším protonovým číslem a složitější elektronovou strukturou zpravidla počet možných stavů narůstá, nejméně je jich u vodíku a hélia. Se zvýšením tlaku dochází k rozšiřování jednotlivých čar a při provozním tlaku u vysokotlakých výbojek již dochází ke tvorbě spojitého spektra. Nicméně spektrum par a plynů je zpravidla uváděno při tlacích velmi nízkých, řádu jednotek Pa, jenž je celé diskrétní. Pro znázornění spektra jsou poté využity tzv. čárová spektra, které nenesou informaci o intenzitě daných čar, ale pouze o jejich umístění ve spektru. V *Tabulce 3-2* jsou znázorněna čárová spektra inertních a dalších plynů, par kovů s uvedenou přibližnou barvou produkovaného světla [5].

Pro transformaci vyzářené energie výbojkami z UV oblasti spektra nebo viditelné oblasti s krátkými vlnovými délkami na světlo o delších vlnových délkách používáme luminofory. Historicky se dlouhou dobu používal sulfid zinečnatý ZnS, později se přešlo k oxidu zinečnatému ZnO aktivovaného manganem, až postupně se začaly používat prvky vzácných zemin, které díky velkému zastoupení různých pravděpodobností vyzářené energie dokázaly pokrýt celé viditelné spektrum.

První použití luminoforů bylo pro zviditelnění elektronového svazku na stínítku vakuových trubic, dnes používaných jako CRT obrazovky. Stínítka měla zelenou nebo modrou barvu, které bylo dosaženo právě sulfidem zinečnatým s různou dotací. Později pro dosažení bílé barvy bylo nutné zastoupit také červenou oblast spektra. Zde již bylo použito prvků vzácných zemin, konkrétně oxidu yttria aktivovaného europiem [5].

U světelných trubic a zářivek v počátečních stádiích jejich vývoje bylo používáno sloučenin fosforu (v některé literatuře nazýváno halofosforový luminofor), výsledkem bylo částečně spojitě spektrum, které převážně pokrývalo kratší vlnové délky. Nicméně výsledkem bylo dosaženo maximálního indexu podání barev Ra okolo 60 a dosahovaný měrný výkon byl v závislosti na výkonu pouze okolo $70 \text{ lm}\cdot\text{W}^{-1}$. Z chemického hlediska lze tento luminofor popsat jako fosforečnan hořčíku a stroncia aktivovaný europiem $\text{SrMgP}_2\text{O}_7:\text{Eu}$ nebo jako křemičitan stroncia, barya a hliníku aktivovaný europiem $(\text{Sr},\text{Ba})\text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_8:\text{Eu}$. Případně byl také používán fosforečnan stroncia aktivovaný europiem $\text{Sr}_3(\text{PO}_4)_2:\text{Eu}$ [24].

Zlepšení situace přineslo až použití třípásmových luminoforů (angl. Triband Luminophore). Výsledkem bylo zvýšení měrného výkonu až na $100 \text{ lm}\cdot\text{W}^{-1}$ a indexu podání barev na hodnotu 85. Pro modrou oblast spektra je používán hlinitan barnatý (zkratka BAM) s vyřazovaným maximem na vlnové délce 450 nm. Dále pro zelenou oblast spektra je používán uhličitan wolframitý (zkratka CAT) s vyřazovaným maximem na vlnové délce 543 nm a pro dlouhé vlnové délky světla je používán oxid yttritý (zkratka YOX) s maximem na 611 nm [24, 49].

Pro zářivky se spektrální distribucí zářivého toku v oblasti UV-A je používáno sloučenin s wolframidem vápenatým CaWO_4 nebo tetraboritem stroncia aktivovaným europiem $\text{SrB}_4\text{O}_7:\text{Eu}$.

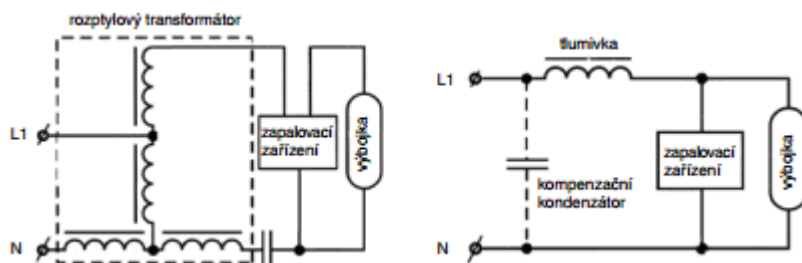
Nízkotlaké rtuťové výbojky s vynikajícím indexem podání barev s hodnotou nad 90 používají již z chemického popisu velmi složité sloučeniny, které jsou patentované a v některých případech utajované. Některé z nich jsou uvedeny v článku, na který odkazuje tento odstavec. Vysokotlaké rtuťové výbojky používaly luminofory na totožném základě jako luminofory pro zářivky na bázi fosforu nebo na vanadičitanu yttria aktivovaného europiem [49].

3.3.1 Sodíková nízkotlaká výbojka

Sodíková nízkotlaká výbojka má ze všech výbojových zdrojů nejnižší provozní tlak, který se pohybuje od 0,5 do 2 Pa. Historie vzniku podobně jako u zářivek spadá do meziválečného období. Masové výroby se tyto zdroje dočkaly až v 60. a 70. letech 20. století. Poté byly kvůli nízké kvalitě poskytovaného světla nahrazeny nejprve vysokotlakými rtuťovými výbojkami a pak převážně vysokotlakými sodíkovými výbojkami. Dnes opět zažívají renesanci v použití a výrobě, nicméně pouze pro některé aplikace, například pro osvětlování dálnic [5].

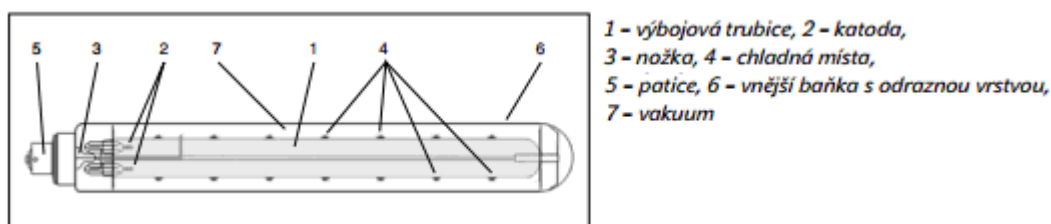
Samotná výbojka je jednoduché konstrukce, i když při výrobě bylo potřeba vyřešit velké množství technologických problémů. Hlavním bylo negativní působení nasycených sodíkových par na vnitřní komponenty hořáku. Vnitřní teplota výboje se v závislosti na jmenovitém příkonu pohybuje v rozsahu 250 až 300 °C. Vnitřní trubice je vyráběna z měkkého vápenatého skla s vnitřní tenkou vrstvou z tvrdého bórítého skla, jež odolává agresivnímu působení sodíkových par. Takřka všechny konstrukce těchto výbojek jsou opatřeny vnější trubící, jejíž vnitřní prostor zpravidla tvoří dusík se sníženým tlakem. Hlavním účelem je zabránění úniku tepla vedením nebo prouděním z vnitřního hořáku, kterému ještě navíc napomáhá tenká vrstva oxidů cínu a india, jež propouští světlo a část IR záření navrací zpět do hořáku. Tímto způsobem je zvýšena hospodárnost provozu těchto zdrojů [5].

Jako předřadný systém jsou užívány čím dále častěji elektronické vysokofrekvenční předřadníky nebo starší řešení s rozptylovým transformátorem, který dodává potřebné vysoké napětí pro zápal výbojové dráhy. Pro výbojky s menším jmenovitým příkonem postačuje pro zápal nižší hodnota napětí. Je možné je napájet klasickým obvodem s tlumivkou a zapalovacím zařízením. Příklad možného zapalování těchto výbojek je uveden na následujícím Obrázku 3-19.



Obr. 3-19 Schémata zapalování nízkotlakých sodíkových výbojek [50].

Plynná náplň hořáku je za studeného stavu naplněna neonem s malým přídatkem argonu. Zápal tedy probíhá převážně v ředěném neonu, proto také výbojka zpočátku svítí červeně. Doba náběhu samotného zdroje trvá až několik desítek minut do ustálení parametrů. Obsah pevného a za provozu kapalného sodíku několika řády převyšuje množství pro vytvoření jeho nasycených par při provozu. Nicméně aby bylo dosaženo rovnoměrné koncentrace par, je trubice hořáku po celé své délce opatřena prohlubněmi, ve kterých kondenzuje a také se udržuje kapalný sodík, jenž se neustále pomalu odpařuje. Schéma konstrukce nízkotlaké sodíkové výbojky s popisem je uvedeno na následujícím Obrázku 3-20.

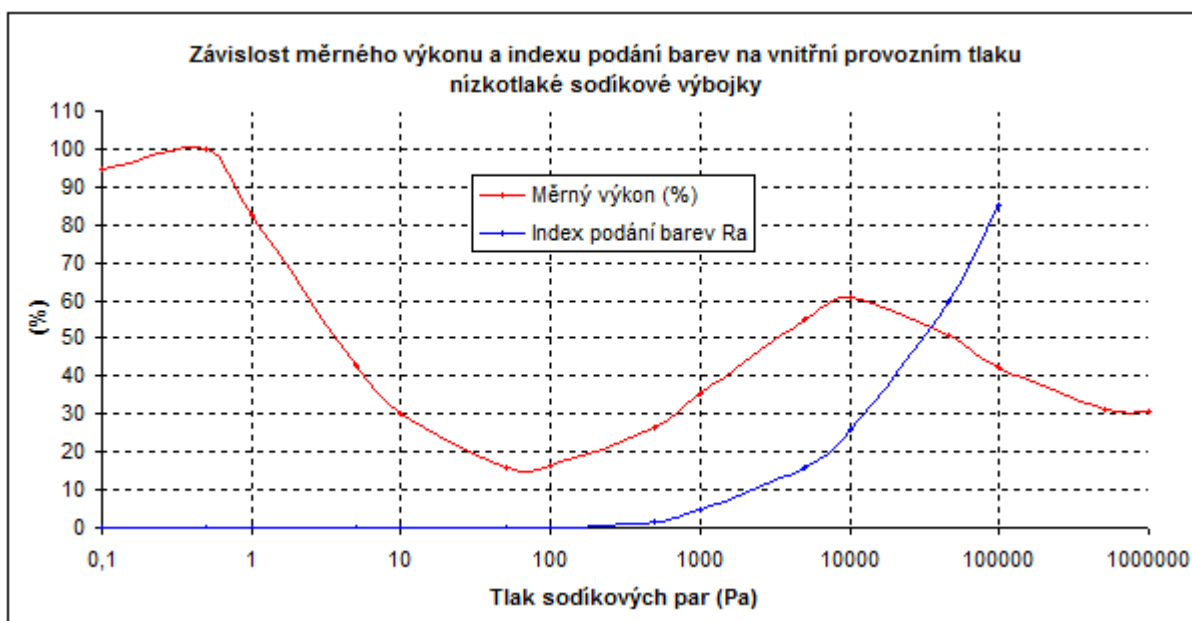


Obr. 3-20 Konstrukce nízkotlaké sodíkové výbojky [50].

3.3.1.A Provozní parametry nízkotlakých sodíkových výbojek

Výbojky jsou v současné době vyráběny pouze několika výrobci v omezené výkonové řadě od 18 do 180 W. Z důvodů omezeného příkonu na délku a světlost trubice je třeba se zvyšujícím se jmenovitým příkonem prodlužovat také délku, což činí problémy se zapalováním. Z tohoto důvodu je maximální příkonová hodnota pouze 180 W na jednu trubici. Dosahovaná hodnota produkovaného světelného toku se pohybuje mezi 1,8 až 33 klm a dosahovaný měrný výkon se v závislosti na provedení, výrobci a jmenovitém příkonu pohybuje v rozsahu 100 až 220 $\text{lm}\cdot\text{W}^{-1}$, což z těchto zdrojů dělá jeden z nejvíce účinných. Kdyby nebylo ztrát a kdyby byla dobře vyřešena teplotní bilance výboje, je možné z těchto zdrojů teoreticky získat až 500 $\text{lm}\cdot\text{W}^{-1}$. Náhradní teplota chromatičnosti je u všech příkonových řad rovna 1 800 K. Spektrální distribuce je závislá na vnitřním tlaku. Pro nízkotlaké výbojky o vnitřní provozním tlaku okolo 1 Pa jsou ve spektru zastoupeny pouze dvě vlnové délky 589 a 589,6 nm, které se nazývají sodíkový dublet. Výsledné záření je tedy takřka monochromatické. A dosahovaný index podání barev může dle matematických výpočtů dosáhnout i záporných hodnot, nicméně v tomto případě je udávanou hodnotou 0. S postupným zvyšováním vnitřního tlaku sice klesá účinnost přeměny elektrické energie na světlo, ale spektrum se stává bohatším. Proto existují nízkotlaké výbojky se zvýšeným provozním tlakem označené DeLuxe, které dosahují indexu podání barev od 25 až po 60, kdy se již blíží parametrům vysokotlakých sodíkových výbojek [5].

Závislost dosahovaného měrného výkonu a indexu podání barev na tlaku sodíkových par je uvedena na následujícím grafu na *Obrázku 3-21*.



Obr. 3-21 Závislost měrného výkonu a indexu podání barev na tlaku sodíkových par [6].

Doba života těchto zdrojů udávaná výrobci se pohybuje od 18 000 do 36 000 provozních hodin. Během celého života tento světelný zdroj poskytuje stabilní světelný tok, jehož pokles ke konci života v porovnání s počáteční hodnotou je zhruba 10 %. Kvůli nízké tepelné kapacitě a malé setrvačnosti výboje světelný tok v čase takřka kopíruje kolísání příkonu dvojnásobkem síťové frekvence. Světelný tok tak dvakrát za periodu padá skoro na nulovou hodnotu, což má za následek výsledný silný stroboskopický efekt. Výbojka umožňuje okamžitý znovuzápal a spolehlivý zápal lze provádět až do okolních teplot $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$. Díky monochromatickému záření je

tento zdroj vhodný do snížených podmínek viditelnosti, kdy zajišťuje dobré kontrastní poměry i v husté mlze. Také jako jediný z výbojových zdrojů neobsahuje toxickou rtuť.

Jako jediný světelný zdroj má výrobcem předepsanou pracovní polohu. U zdrojů nižších příkonových řad je umožněn provoz i ve svislé poloze, ale vždy patící vzhůru, aby nedošlo k přetečení tekutého sodíku k elektrodám, což by znemožnilo další znovuzápal. U starších provedení a vyšších příkonových řad je umožněn provoz pouze v horizontální poloze, u některých typů s maximální odchylkou $\pm 20^\circ$. Bez výjimky jsou všechny dnes vyráběné sodíkové nízkotlaké výbojky vybaveny speciální patičí BY22d. Ukázka některých dnešních moderních, ale i již historických výbojek je uvedena na následujícím *Obrázku 3-22*.



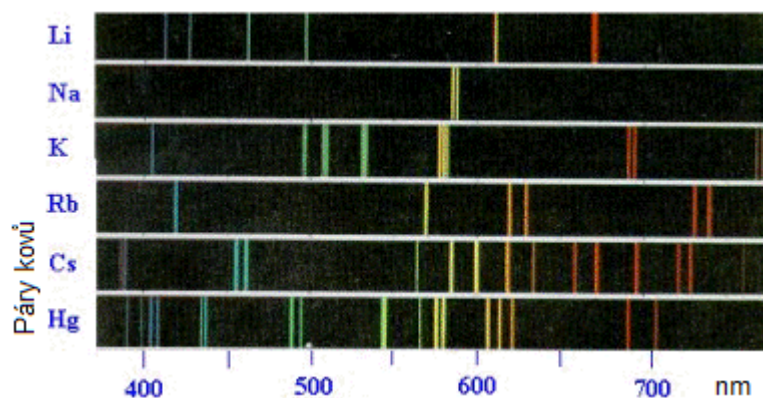
Obr. 3-22 Příklad sodíkové nízkotlaké výbojky [5].

3.3.2 Trubice plněné plynem

Světelné trubice plněné plynem, často také nazývané neonové trubice, patří k historicky nejstarším výbojovým světelným zdrojům. Jsou to předchůdci zářivek, ale také i například katodových obrazovek (CRT monitorů). Jejich princip je velmi jednoduchý. Uzavřená trubice plněná ředěným plynem je připojena na vysoké napětí. Ředěné plyny mají nízkou elektrickou pevnost, proto při připojení vysokého napětí dochází k jejich ionizaci nebo-li k „zápalu“ a trubici začne protékat proud. Účinky protékajícího proudu a vnitřního rozdílu elektrického pole ionizují atomy ředěného plynu, které při své rekombinaci vyzáří zpravidla ve spektru nespojitě záření. Vzniká tedy anodový sloupec ionizovaných plynů a trubice mohou svítit také při napájení stejnosměrným proudem [51].

3.3.2.A Provozní parametry světelných trubice

Trubice bývají vyráběny v provedení o vnějším průměru 20 mm, které mají vnitřní provozní tlak 0,8 kPa. A také jsou k dispozici trubice o vnějším průměru 8 mm s vnitřním tlakem 3,2 kPa. Jako náplň trubic byly zpočátku (konec 19. století) využívány inertní plyny, převážně argon, neon a hélium, případně jejich kombinace. Světlo bylo produkováno přímo „zářícím plynem“ bez použití luminoforů. Příkladem mohou být tzv. Geisslerovy trubice. Dosahovaný výkon u těchto zdrojů nebyl vyšší než několik jednotek $\text{lm}\cdot\text{W}^{-1}$. Až později, ve 20. letech 20. století, se začal používat argon s přídavkem par rtuti. Výsledkem byl vznik namodralého světla, ale především silné emise UV záření v oblasti UVC. Zde byly poprvé komerčně nasazeny luminifory, které transformovaly část produkovaného UV záření do oblasti světla. Zpočátku používané soli s obsahem fosforu dokázaly pokrýt spektrum pouze v oblasti modré a zelené barvy a výsledný světelný efekt byl velice chladný. Nicméně právě zde se zrodil počátek zářivek. Kombinací různých plynných náplní a různobarevných luminoforů lze dosáhnout takřka všech barevných efektů. Kromě použití inertních plynů mohou být v trubicích použity ředěné páry kovů. Spektrální distribuce těchto par kovů při nízkých tlacích jsou pomocí čárových spekter znázorněny na následujícím *Obrázku 3-23* [5, 51].



Obr. 3-23 Spektrální čáry par kovů při nízkém tlaku [48].

Opět kvůli negativní (inverzní) VACH výboje u těchto zdrojů bylo nutné používat napájecí zdroje a předřadné systémy, které pomohou stabilizovat pracovní bod na charakteristice. Navíc trubice v závislosti na své délce potřebují pro svůj chod vysoké napětí o velikosti cca 3 až 15 kV. Nicméně po provedeném zápalu bylo nutné dosáhnout provozního proudu v řádu stovek mA. Pro tyto účely se začaly používat a doposud se převážně používají rozptylové transformátory, které ve stavu naprázdno poskytují vysoké napětí a umožňují rychle přejít do stavu blízkém stavu nakrátko, ve kterém dodávají potřebný proud. Bohužel nízká účinnost těchto zdrojů v kombinaci s nízkou účinností samotného světelného zdroje dělá světelné trubice z dnešního pohledu již ekonomicky nerentabilním zdrojem pro tematická osvětlování a reklamy. I když v poslední době zažívají své „znovuzrození“ pro aplikace ve stylu retro nebo autotuningu. Světelné trubice napájené vysokým napětím s třípásmovým luminoforem jsou často používány jako osvětlovací prvek starších LCD monitorů. U nových provedení je nejčastěji využíváno LED ekvivalentních náhrad.

Život světelného zdroje je velmi dlouhý a zpravidla dosahuje hodnot v řádu desítek tisíc hodin. Rychleji než světelný zdroj je zpravidla vyřazen z provozu předřadný systém. U samotných trubic časem dochází k poklesu produkce světelného toku vlivem částečného úniku vnitřní plynné náplně netěsnostmi v zátavách přírodních elektrod. Nejnáchylnějším plynem z tohoto pohledu je hélium. U některých trubic dochází k odparu materiálu elektrod, jenž se usazuje na vnitřní straně trubice a zabraňuje tak průniku světelného toku. Zároveň s tím také dochází k poklesu intenzity elektrického pole v místě napařené vrstvy a tím se znemožňuje ionizace vnitřní plynné náplně. Příklady aplikací světelných trubic pro reklamní účely jsou znázorněny na následujícím Obrázku 3-24 a pro moderní aplikace na Obrázku 3-25.



Obr. 3-24 Příklady realizace reklam ze světelných trubic.



Obr. 3-25 Příklady moderního použití světelných trubic.

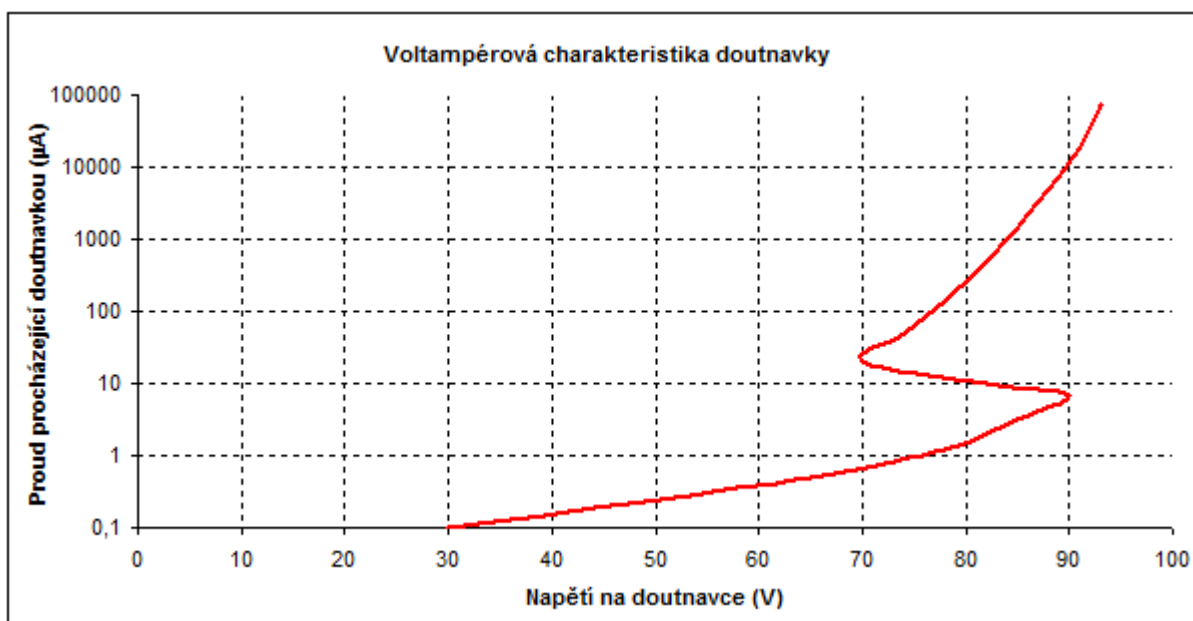
3.3.3 Doutnavka

Doutnavky je možné zařadit do kategorie světelných trubic, nicméně kvůli svým speciálním vlastnostem a možnostem použití je řadíme do oddělené skupiny. Na rozdíl od světelných trubic nevyužívají svítivého anodového sloupce, ale světlo u nich vzniká průchodem proudu od katody k anodě [52].

3.3.3.A Provozní parametry doutnavek

Díky velmi nízkému tlaku, většinou v desítkách nebo stovkách Pa, doutnavka pracuje již od nízkých hodnot procházejícího proudu – jednotky μA . Je to tedy trubice plněná ředěným plynem, převážně užívaným je neon s malým množstvím argonu. Pracuje v režimu studené katody, to znamená, že se v jejím okolí nevyskytuje oblak elektronů, jako v případě žhavených katod. To má za následek, že z elektronů a iontů vytvořených při ionizaci plynu průchodem proudu se právě pomalé kladné ionty hromadí v okolí záporné katody. Díky jejich nízké pohyblivosti vzniká v okolí katody velký spád napětí (elektrického pole) a největší výkonová ztráta. Proto pouze tato oblast svítí. Při napájení doutnavky stejnosměrným proudem je tedy možné tímto snadným způsobem určit polaritu. Při střídavém napájení svítí střídavě elektrody obě [52].

Zapalovací napětí je závislé na vzdálenosti elektrod, vnitřním provedení a vnitřním tlaku plynů, nicméně u většiny doutnavek je okolo 70 V. Při jeho zvyšování prudce stoupá procházející proud. Tato závislost je znázorněna na VACH doutnavky na *Obrázku 3-26*. Tohoto efektu se využívá u stabilizátorů napětí, které mohou být vybaveny větším počtem sériově řazených doutnavek. Je možné jich použít jako přepěťové ochrany s omezenou výkonovou ztrátou [53].



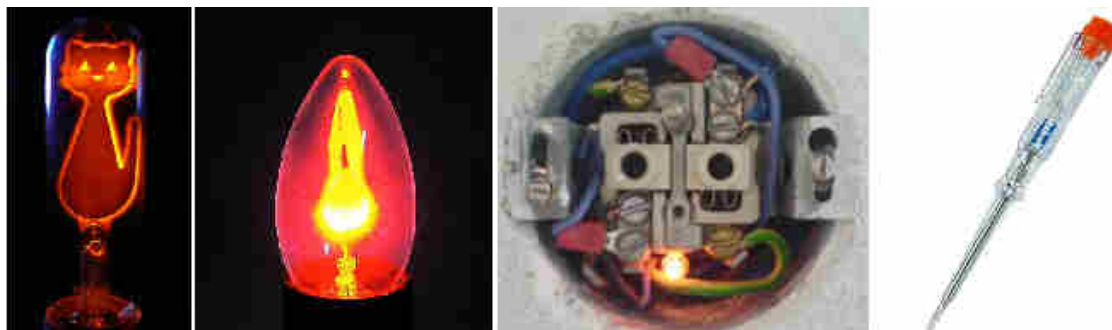
Obr. 3-26 Voltampérová charakteristika doutnavky.

Jako světelný zdroj je možné doutnavky využít pouze pro signalizační, dekorační a efektní osvětlování. V běžné praxi nacházejí uplatnění v návěstních, informačních a signalizačních svítidlech, ve kterých je doutnavka pro stabilizaci pracovního bodu na VACH vybavena sériovým rezistorem o velikosti několika $M\Omega$. A právě činnost doutnavky při velmi nízkých hodnotách procházejícího proudu, většinou postačuje několik μA nebo desítek μA , je často využívána a je možné jich použít do nejjednodušších zkoušeček napětí. Člověk, přes něhož je uzavřen elektrický obvod, takto nízké hodnoty proudu prakticky nepocítuje. Poslední, i když dnes ještě často viditelnou aplikaci doutnavek, nacházíme v zobrazovacích systémech. Tedy předchůdcích dnešních zobrazovačů ze světelných diod. Tento zobrazovač se nazývá digitron a standardně umožňuje zobrazit číslice 0 až 9, případně polaritu nebo jiné znaky.

Ukázka provedení doutnavek je uvedena na následujícím *Obrázku 3-27*, některá jejich praktická použití na *Obrázku 3-28* a provedení s aplikací digitronů na *Obrázku 3-29*.



Obr. 3-27 Provedení doutnavek [54].



Obr. 3-28 Praktická použití doutnavek..



Obr. 3-29 Provedení a aplikace digitronových zobrazovačů [52, 54].

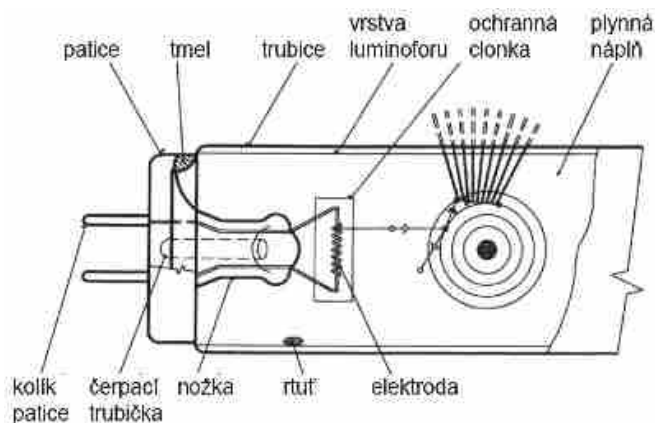
3.3.4 Lineární zářivka

První zářivky, nebo-li nízkotlaké rtuťové výbojky, se objevily již v meziválečném období úpravou světelných trubec. Skleněná trubice s výpary rtuť a argonu za sníženého tlaku byla připojena na zdroj vysokého napětí. Trubice produkovala UV záření, které se pomocí vrstvy jednoduchého luminoforu transformovalo na světlo. V této době byly dostupné luminofory pouze na bázi fosforu a sulfidu zinku, proto výsledné spektrum obsahovalo převážně zelenou a modrou

oblast spektra a výsledný světelný efekt byl velmi špatný, a proto použití těchto světelných zdrojů pro účely osvětlování nebylo až na výjimky možné. Až v 50. a 60. letech 20. století se zdokonalila technologie výroby luminoforů a začalo se pro jejich výrobu využívat prvků vzácných zemin. Tím bylo dosaženo spektrální distribuce také v oblasti delších vlnových délek a zářivky bylo možné použít pro účely osvětlování s výrazně vyšší účinností, než v té době dosahovaly konvenční světelné zdroje. Také střední doba života zářivek byla výrazně delší. Až do 80. let byly používány zářivky v provedení T12 (průměr trubice 38 mm) a od 90. let se také používají zářivky v provedení T8 (průměr 26 mm). Takřka bez výjimky se napájely a zapalovaly pomocí předřadného systému složeného z tlumivky, startéru a kompenzačního kondenzátoru. S příchodem moderní polovodičové techniky se začalo používat účinnějších a na výrobu levnějších elektronických napájecích a zapalovacích předřadných systémů, které je možné použít jak pro zářivky v provedení T8, ale také pro moderní zářivkové trubice v provedení T5 (průměr 16 mm), případně zářivkových trubec ještě tenčích [5].

Kromě lineárních zářivek, jejichž trubice je přímá a na obou koncích opatřená přívody a žhavicími elektrodami, se postupně vyvinula i kruhová forma trubice a postupně byly také vyvinuty kompaktní zářivky s integrovanými předřadnými systémy. A také v oblasti napájení již není nutné do zářivkových trubec přivádět elektrickou energii prostřednictvím elektrod, ale pomocí magnetické indukce u tzv. bezelektrodoých (indukčních) zářivek.

Z konstrukčního hlediska jsou lineární zářivky obyčejnou trubicí vyrobenou z měkkého sodno-vápenného skla s vnitřní nanesenou vrstvou luminoforu po celé své délce. Výjimku tvoří germicidní zářivky bez luminoforu nebo se selektivním luminoforem pro jednotlivé oblasti UV záření. U zářivek ve starším provedení T12 plynnou náplň tvoří argon o provozním tlaku 0,8 Pa. Dále u zářivek v tomto provedení je vždy malé množství kapalné rtuti, které se částečně odpařuje a ve výbojovém prostoru vytváří nasycené páry. Argon umožňuje snadné zapálení a zpomaluje degradaci emisního materiálu, který je nanesen na zapalovací žhavení přívodních elektrod. U zářivek v provedení T8 a u všech moderních typech je kromě argonu používán i krypton a vnitřní provozní tlak par a plynů se pohybuje mezi 0,2 a 0,4 kPa. Žhavicí elektroda je vyrobena z wolframového drátku a je opatřena ochrannou clonkou, která zabraňuje jejímu dynamickému namáhání při startovací fázi. Také umožňuje dosáhnout rychlejšího zapálení a stabilnějšího hoření výboje. V neposlední řadě zabraňuje odpařenému wolframu z vlákna usazovat se na vnitřních stěnách zářivky. Na žhavicím vlákně je nanesena tenká emisní materiálů na bázi uhličitanů vápníku a barya. Konstrukční schéma v okolí zapalovací elektrody lineární zářivky je uvedeno na následující Obrázku 3-30.



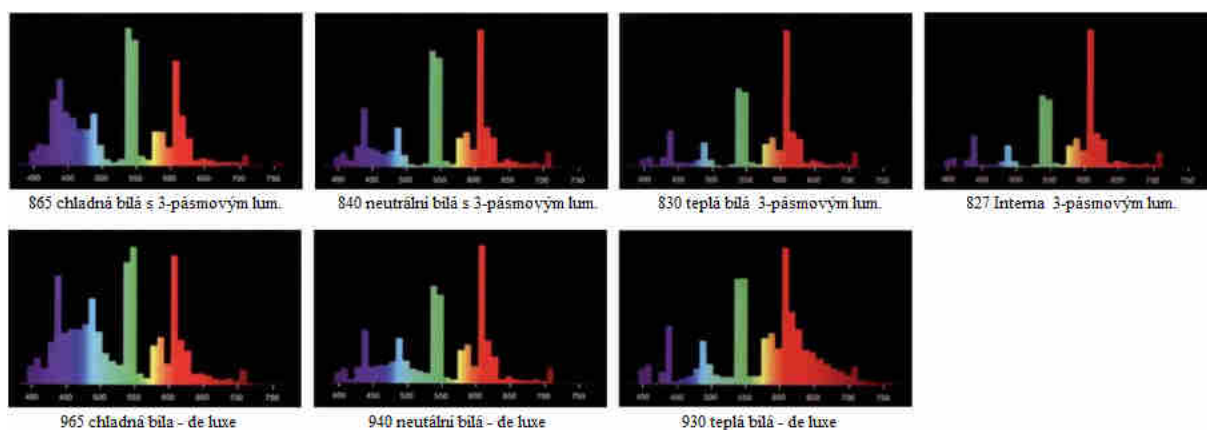
Obr. 3-30 Konstrukční schéma lineární zářivky [55].

U konvenčních předřadných systémů je zapálení výboje v zářivce provedeno v několika krocích. Jednotlivé konce zářivky jsou připojeny na síťové napětí v sérii přes tlumivku (potřebnou indukčnost), která v době stabilního hoření stabilizuje pracovní bod na VACH. Mezi druhé (nezapojené) přívodní piny na obou stranách trubice je připojen startér. Jedná se doutnavku s jednou z elektrod z bimetalového pásku. Při připojení síťového napětí na zářivku nedochází k zápalu, takže zářivkou neprochází proud a napětí na obou koncích, zároveň také na startéru, je rovno síťovému. Doutnavka startéru se začne zahřívat až do doby prohnutí bimetalu, jenž zkratuje přívody. Síťové napětí se v tu chvíli objeví na tlumivce, která si uskladní energii do svého magnetického pole. Zároveň také dochází k průchodu proudu přes žhavicí vinutí na obou stranách trubice, čímž dochází k emisi elektronového oblaku do vnitřního prostoru trubice. Po chvíli dochází ke zchladnutí doutnavky ve startéru a zpětným návratem bimetalu je galvanické spojení přerušeno. U tlumivky dochází k odpojení přísunu energie a díky indukčnímu zákonu je na jejich kontaktech generováno protifázní napětí o řádu několika stovek V. Toto napětí se přičítá k síťovému a je přivedeno na elektrody zářivky, kde dochází k zapálení výboje. Na zapáleném výboji je poté již napětí menší než síťové (kvůli napětíovému úbytku na tlumivce), a proto již nedochází k opětovnému zapalování startéru [5, 55, 56].

Průchod proudu prostřednictvím výboje skrz plynnou náplň zářivkové trubice způsobuje ionizace par rtuti. Ionizované atomy při svém návratu do neutrálního stavu vyzařují specifické nespojitě záření částečně ve viditelné oblasti spektra, ale především v oblasti spektra UV s dominantními vlnovými délkami 253,7 a 185,4 nm.

3.3.4.A Provozní parametry lineárních zářivek

Dosahovaný měrný výkon je u lineárních zářivek závislý na mechanickém provedení, použitém luminoforu a jmenovitém příkonu. Pohybuje se v rozsahu od 16,5 do 110 $\text{lm}\cdot\text{W}^{-1}$, přičemž u velkého množství zářivek v provedení T5 s elektronickým předřadníkem přesahuje hodnotu 100 $\text{lm}\cdot\text{W}^{-1}$. Jmenovitý příkon včetně předřadných systémů se pohybuje mezi 4 a 200 W. A produkce světelného toku se pohybuje mezi hodnotami 25 až 14 000 lm.



Obr. 3-31 Spektrální distribuce u lineárních zářivek [55].

Zářivky určené pro osvětlování jsou vybaveny různými luminofory, pomocí nichž je možné dosáhnout výsledné náhradní teploty chromatičnosti v rozsahu 2 700 až 9 000 K, dokonce je možné zakoupit zářivkové trubice s teplotami nad 10 000 K. Například zářivky s označením „Skywhite“ jsou s teplotou 13 000 a 17 000 K. U starších trubic v provedení T12 se výsledný index podání barev pohyboval mezi hodnotami 50 až 65. U trubic T8 bylo dosaženo hodnot kolem 80 a dnešní moderní trubice v provedení T5 dosahují hodnot až 95. Pro zářivky se již vžil tříčíselný označení pro udání náhradní teploty chromatičnosti a indexu podání barev. Jeho první

čísllice se uvádí index podání barev. Například hodnota „9“ znamená, že se veličina R_a pohybuje v rozsahu 90 až 99, pro hodnota „8“ je R_a v rozsahu 80 až 89. Druhé dvě číslice uvádějí náhradní teplotu chromatičnosti. Například „27“ je teplota 2 700 K a „30“ je 3 000 K. Výsledná spektrální distribuce je na těchto parametrech závislá a u dnešních třípáskových luminoforech se rozdílných světelně-technických parametrů dosahuje změnou poměrů zastoupení jednotlivých směsí prvků vzácných zemin, vápníku, stroncia, barya, fosforu a dalších. Příklad dosahovaných spekter při rozdílných parametrech je uveden na *Obrázku 3-31* [5].

Střední doba života těchto zdrojů je několikanásobně vyšší než u konvenčních zdrojů. Pohybuje se mezi 5 000 a 40 000 hodin. Přičemž u zářivek v provedení T8 je zpravidla v rozmezí 10 000 až 15 000 hodin a u zářivek T5 přesahuje hodnotu 20 000 hodin. Při použití elektronických předřadných systémů s vysokou frekvencí budícího proudu se účinnost zářivek zvyšuje asi o 10 %, přičemž proces zapalování je daleko šetrnější a doba života se tím značně prodlužuje. Elektronické systémy také zabraňují kolísání světelného toku a v podstatě dochází k úplnému potlačení stroboskopického efektu. Také při pohledu na energetické ztráty jsou ztráty u elektronických systémů výrazně nižší v porovnání s elektromagnetickými.

Dobu života těchto zdrojů ovlivňuje mnoho faktorů. Pokles světelného toku ke konci života je u běžných zářivek v provedení T8 až 30 %, u zářivek provedení T5 přibližně 20 %. Tuto hodnotu zásadně ovlivňují tři parametry. Prvním je četnost spínání, druhým je přítomnost clonky zapalovacích elektrod a třetím je množství rtuti uvnitř trubice. Pro vytvoření nasycených par je nezbytné pouze malé množství rtuti, řádově jednotky mg pro lineární zářivky a stovky μg pro zářivky kompaktní. Používaná množství jsou až o řád vyšší kvůli technologicky špatně zvládnutelnému procesu přesného dávkování a také kvůli ztrátám rtuti během života zářivky. Část rtuti během života reaguje se sklem a materiálem luminoforu, což má dopad na výslednou propustnost záření a tím také na výsledný světelný tok.

Doba života je také závislá na četnosti spínání. Při jejím odhadu je většinou uvažováno s počtem sepnutí světelného zdroje 5x až 10x za 24 hodin jeho provozu. Pokud by zářivky pracovaly v kontinuálním režimu (bez spínání), může jejich doba života stoupnout zhruba na dvojnásobek. Naopak při sepnutí zdrojů více jak 35x za 24 hodin jejich provozu je doba života snížena zhruba na polovinu [6].

U zářivek je značná závislost produkce světelného toku na teplotě okolí. Největší podíl na tom má změna účinnosti luminoforu při teplotách vyšších a při teplotách nižších také samotná účinnost vzniku zářivých rekombinací uvnitř trubice. Teplota okolí také ovlivňuje možnost samotného startu zářivky, kdy pro teploty nižších než 0 °C je již potřeba používat zářivky s amalgámem namísto čisté rtuti a na při teplotách pod -20 °C je nutné používat speciální trubice. Nejvyšší hodnoty světelného toku dosahují zářivky při teplotě trubic v rozmezí 20 až 30 °C, u kompaktních zářivek a trubic v provedení T5 je optimum při teplotách 60 až 70 °C. Například při poklesu teploty trubice na 0 °C klesá produkovaný světelný tok na 75 % původní hodnoty, stejně tak při teplotě trubic 60 °C u provedení T8 [5].

Lineární zářivky jsou dnes dostupné v nejrůznějších provedení. Vedle již zmíněných provedení trubic T12, T8 a T5 jsou také k dispozici trubice T4 a T2. Většina zářivek je vybavena patičí Gxx, nicméně jsou dostupné také tzv. jednopinová provedení s označení Fa nebo patice axiální v provedení R4.3. Ukázky provedení lineárních zářivek včetně detailu patice jsou uvedeny na následujícím *Obrázku 3-32*.



Obr. 3-32 Provedení lineárních zářivek [5].

V následující *Tabulce 3-3* jsou uvedeny dosahované elektrické a světelně-technické parametry lineárních zářivkových trubec v závislosti na provedení.

Tab. 3-3 Parametry lineárních zářivek různého provedení [6].

Trubice	Jm. příkon (W)	Ra	Měr. výkon (lm.W ⁻¹)
T5	8; 13	80 až 89	56 až 73
	6; 8; 13	90 až 98	37 až 46
	4; 6; 8; 13	70 až 79	30 až 54
	14; 21; 28; 35	80 až 89	79 až 104
	24; 39; 49; 54; 80	80 až 89	67 až 77
T8	15; 18; 30; 36; 58; 70	51 až 63	64 až 75
		64 až 72	55 až 69
		85	67 až 90
	18; 36; 58	95 až 98	48 až 66
T12	20; 40; 65	51 až 70	53 až 73

Všeobecně lze říci, že u nízkotlakého výboje je značně omezen příkon do určitého prostoru výbojové dráhy. Tento fakt je dán nízkým tlakem a tedy i malým počtem částic vnitřních par a plynů, které je možné ionizovat. Výsledkem je pak závislost délky trubice na příkonu, takže lze velmi snadno přibližně určit příkon zdroje (lineární zářivky) podle jeho délky.

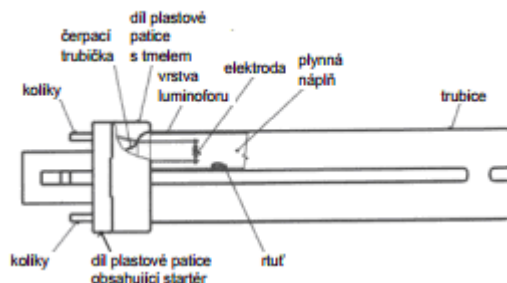
3.3.5 Kompaktní zářivka

Kompaktní zářivky jsou používány od 90. let 20. století. Vznikly úpravou lineárních zářivek do kompaktní podoby. Díky integrovanému předřadnému systému a rozměrům shodným s konvenčními zdroji dnes slouží společně se světelnými diodami jako jejich náhrada.

V dnešní době je možné tyto zdroje zakoupit již přímo s integrovaným předřadným systémem pro přímé připojení na síťové napětí 100 až 240 V. Tyto zářivky jsou zpravidla vybaveny paticí se závitem E14 až E40, případně B22 a B27. Nicméně do velkého množství pohledových svítidel a pro průmyslová využití je možné zakoupit kompaktní zářivky bez zapalovače a předřadného systému. Tyto patice jsou čtyřpinové, například v provedení 2G7 až 2G11 nebo G24-q. Velmi často jsou k dispozici dvoupinové zářivky s paticí G23 nebo G24-d, jenž mají integrovaný doutnavkový nebo kondenzátorový zapalovač.

Konstrukčně je kompaktní zářivka řešena obdobně jako lineární. Hlavní rozdíl je v provedení trubec, kterých může být větší množství (2, 4, 6, 8,...) v provedení tvaru písmene „U“ zpravidla v sériovém spojení. Dokonce jsou k dispozici také trubice ve tvaru spirály, smyček apod. Některé jsou vybaveny difusním krytem a tvarem napodobujícím žárovkové zdroje. Trubice jsou

vyráběny z měkkého sodno-vápenného nebo olovnatého skla. Vnitřní provozní tlak nasycený par rtuť a plynné náplně inertních plynů se pohybuje v řádu stovek Pa nebo jednotek kPa. Použitá rtuť je u většiny dnes dostupných kompaktních zářivek chemicky vázaná v podobě amalgámů například na zinek nebo sodík. Použitý luminofor, nanesený z vnitřní strany trubic, je dvoj nebo trojpásmový. Na následujícím *Obrázku 3-33* je znázorněna konstrukce kompaktní zářivky [5, 6].

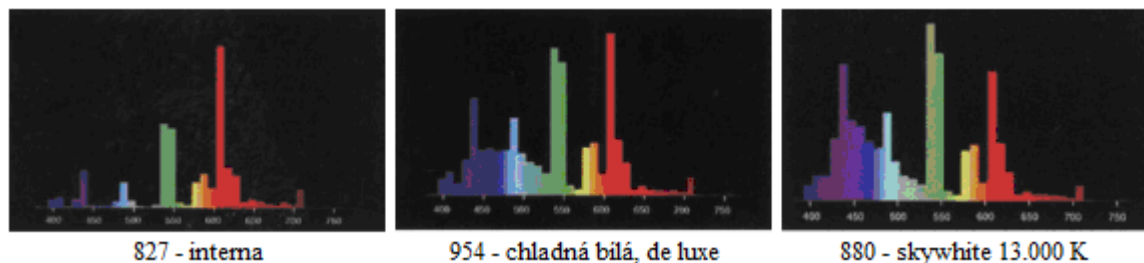


Obr. 3-33 Konstrukční schéma kompaktní zářivky [57].

3.3.5.A Provozní parametry kompaktních zářivek

Na rozdíl od lineárních zářivek mají kompaktní zářivky zpravidla nižší jmenovitý příkon, což společně s kompaktním řešením a překrýváním jednotlivých trubic vede k nižším hodnotám dosahovaného měrného výkonu, který se pohybuje v rozsahu 14 až 93 $\text{lm}\cdot\text{W}^{-1}$, přičemž u většiny prodávaných zářivek se tato hodnota pohybuje mezi 70 a 85 $\text{lm}\cdot\text{W}^{-1}$. Stejně jako u zářivek lineárních se i kompaktní vyrábějí ve velkém rozsahu příkonových řad od 3 do 80 W. Nejvýkonnější kompaktní zářivky mají jmenovitý příkon až 150 W. Hodnota produkovaného světelného toku se pohybuje od 100 do 12 000 lm.

Sortiment kompaktních zářivek je dostupný s dvojpásmovým luminoforem, se kterým zářivky dosahují indexu podání barev v rozsahu 50 až 82, nebo trojpásmovým s výslednou hodnotou indexu podání barev až 90. Náhradní teplota chromatičnosti se u dostupných kompaktních zářivek pohybuje v rozsahu 2 700 až 6 500 K (existují také varianty s náhradní teplotou chromatičnosti nad 10 000 K s označením „Skywhite“). Střední doba života zdrojů je 5 000 až 15 000 hodin, u některých speciálních typů až 20 000 hodin. U kompaktních zářivek je možné parametry náhradní teploty chromatičnosti a indexu podání barev udávat opět pomocí tříčíselného kódu, který se tvoří stejně jako u lineárních zářivek. Na *Obrázku 3-34* je uvedena ukázková spektrální distribuce u různých kompaktních zářivek.



Obr. 3-34 Spektrální distribuce u kompaktních zářivek [57].

V následující *Tabulce 3-4* jsou uvedeny dosahované elektrické a světelně-technické parametry kompaktních zářivek různého provedení.

Tab. 3-4 Parametry kompaktních zářivek různého provedení [6, 57].

Trubice	Jm. příkon (W)	Měr. v. (lm.W ⁻¹)	Patice	Předřadník
Dvojitá	5; 7; 9; 11	50 až 82	G23	Zabudovaný
Dvojitá	5; 7; 9; 11	50 až 82	2G7	Vnější
Dvojitá	18; 24; 36; 40; 55; 80	67 až 87	2G11	Vnější
Čtyřnásobná	10; 13; 18; 26	50 až 70	G24d	Zabudovaný
Čtyřnásobná	10; 13; 18; 26	50 až 70	G24q	Vnější
Šestinásobná	13; 18; 26	70	GX24d	Zabudovaný
Šestinásobná	13; 18; 26; 36; 42; 57; 70	70 až 76	GX24q	Vnější
Čtyřnásobná	3; 5; 7; 8; 11	33 až 60	E14	Integrovaný
Čtyř/šesti.	5; 7; 8; 11; 12; 14; 15; 16; 20	48 až 65	E27	Integrovaný
Čtyř/šesti.	7; 11	51 až 60	G28d	Integrovaný

Ukázková provedení kompaktních zářivek s popisem použité patice a závitu jsou uvedeny na následujícím Obrázku 3-35. Jednotlivé skupiny, například G24q, G24d, GX24q a GX24d, mohou být velmi rozmanité v provedení a je tedy možné jich nadále hlouběji dělit.



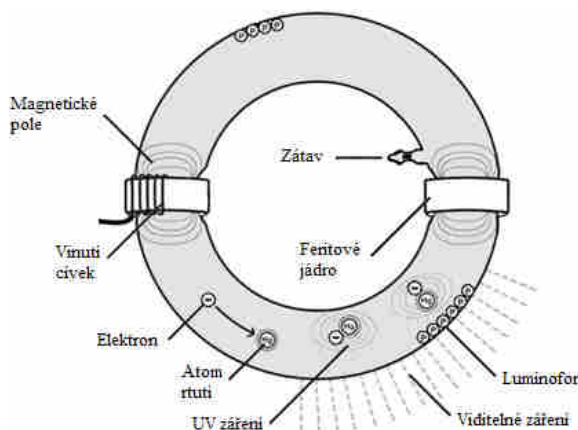
Obr. 3-35 Různé realizace kompaktních zářivek A [5, 6].



Obr. 3-35 Různé realizace kompaktních zářivek B [5, 6].

3.3.6 Indukční nízkotlaká výbojka (bezelektroodová zářivka)

U lineárních a kompaktních zářivek dochází během života zdroje k postupné degradaci materiálů uvnitř výbojové trubice. Nejnáchylnější jsou z tohoto pohledu žhavicí elektrody s emisním materiálem. Během provozu dochází k odparu materiálu vlákna a odpadávání emisního materiálu vlivem dynamického namáhání především v přechodném stádiu náběhu světelného zdroje. Tím je v důsledku omezen život zdroje a také dochází ke změnám provozním, především k postupnému poklesu světelného toku zdroje. Tyto problémy lze u nízkotlakých rtuťových výbojek vyřešit uzavřením skleněné trubice do tvaru kruhu, či obdélníku nebo nádoby vytvořit jako celistvou kulovou bez přírodních elektrod nebo dalších komponentů. Tímto způsobem by se v prostoru výboje kromě materiálu luminoforu nenacházelo nic jiného, co by podléhalo degradaci a případným chemickým reakcím s nasycenými parami rtuti. Výsledkem byla první bezelektroodová zářivka od výrobce Philips s označením QL, která začala být komerčně dostupná počátkem 90. let 20. století. Příslus energie do výbojového prostoru byl pomocí budících cívek. Cívkami procházel vysokofrekvenční proud z předřadného systému a vnitřní výbojový prostor představoval závit nakrátko. Konstrukce těchto výbojek je uvedena na Obrázku 3-36.



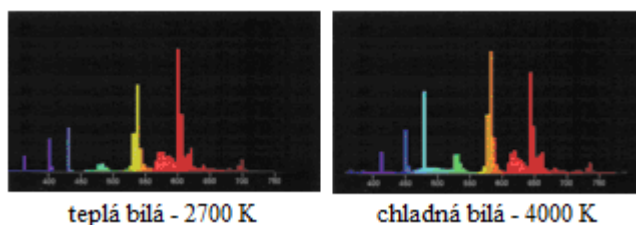
Obr. 3-36 Konstrukční schéma indukční výbojky [19].

Kvůli vysokým pořizovacím nákladům a minimálním možnostem aplikace upadl tento světelný zdroj takřka v zapomnění. Teprve počátkem 21. století firma General Electric vyvinula komerčně prodejný model Genura a firma Osram začala nabízet model Endura. Od té doby se na trhu objevilo velké množství různých variant, převážně od neznámých značek čínských výrobců. Nicméně koncepčně se vývoj ustálil na dvou různých provedeních. Prvním provedením byl model indukční zářivky s vnějšími cívkami s uzavřenou kruhovou nebo obdélníkovou trubicí. A druhým provedením se stala zářivka s vnitřní centrálně symetrickou cívkou s obklopujícím výbojovým prostorem ve tvaru koule, hrušky nebo eliptické baňky. Pracovní frekvence budícího

proudu cívek v případě první koncepce je převážně 250 kHz a v případě realizace s vnitřní cívkou se frekvence ustálila na hodnotě 2,65 MHz [19, 58].

3.3.6.A Provozní parametry indukčních zářivek

Hlavní výhodou indukčních zářivek oproti ostatním výbojovým zdrojům je dlouhá střední doba života, která se v závislosti na provedení pohybuje mezi 60 000 a 100 000 hodin. Vysoká spolehlivost zdroje s velmi stabilním světelným tokem po celou dobu života dělá z těchto zářivek zdroj, který je možné umístit do těžko dostupných míst bez možnosti provádění časté výměny nebo údržby. Limitujícím je ekonomický život napájecího předřadného systému, který má výrobcem uváděnou dobu života 60 000 hodin. Dosahovaný měrný výkon se pohybuje v od 60 do 100 $\text{lm}\cdot\text{W}^{-1}$, přičemž jsou dnes dostupné výkonové řady od 10 do 400 W. Materiál luminoforu je používán stejný třípásmový jako u lineárních zářivek v provedení T5, takže výsledný index podání barev je rozsahu 80 až 89. Spektrální distribuce při rozdílných náhradních teplotách chromatičnosti je znázorněna na *Obrázku 3-37*. Díky rychlému, takřka okamžitému startu předřadného systému, je možné provádět opětovný znovuzápal za dobu zhruba 100 ms [19].



Obr. 3-37 Spektrální distribuce indukčních zářivek [58].

Dnes je dostupný široký sortiment indukčních výbojek obou typů koncepcí. Některé je možné umístit do reflektorových svítidel jako náhradu vysokotlakých výbojek a jiné slouží jako náhrada zdrojů konvečních. Na *Obrázku 3-38* jsou znázorněny indukční zářivky v provedení s vnitřní budicí cívkou a na *Obrázku 3-39* je příklad zářivek s vnějšími budicími cívkami. Příklady svítidel vybavených indukčními zářivkami jsou znázorněny na *Obrázku 3-40*. V současné době jsou jejich nevýhodou vysoké pořizovací náklady, málo svítidel upravených pro jejich přímé použití a také až na výjimky nemožnost stmívání.

Kromě aplikací pro osvětlování si indukční zářivky nacházejí své místo pro dezinfekci díky svým fotobiologickým účinkům v germicidním provedení. Sklo baňky těchto zářivek není opatřeno luminoforem a je vyrobeno z křemenného skla, které propouští UV záření. Stejně jako u ostatních zářivek i zde jsou dominantními vlnovými délkami hodnoty 185,4 a 253,7 nm. Účinností produkce záření v UV oblasti u tohoto zdroje značně převyšuje světelné výbojové zdroje ostatní, proto jsou pro tyto účely obzvláště vhodnou alternativou. Je jich tedy možné využít ve zdravotnictví, potravinářském průmyslu a na výrobu ozónu.



Obr. 3-38 Indukční zářivky s vnitřní budicí cívkou [19].



Obr. 3-39 Indukční zářivky s vnějšími budícími cívkami [5].

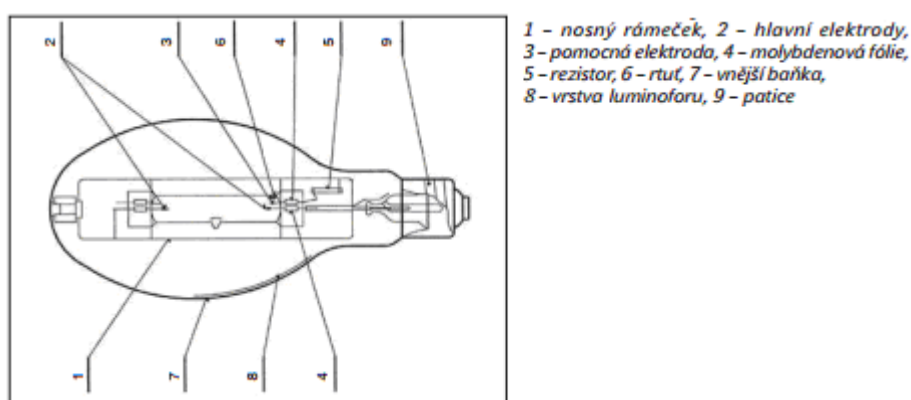


Obr. 3-40 Příklad svítidel s indukční zářivkou [5].

3.3.7 Rtuťová vysokotlaká výbojka

Rtuťová vysokotlaká výbojka patří mezi první vysokotlaké světelné zdroje. Na rozdíl od nízkotlakých světelných zdrojů je výboj probíhající ve vysokotlakém hořáku odlišný. Jeho spektrální distribuce je alespoň po částech spojitá a se zvyšujícím se tlakem spojitosti narůstá, ale i tak jsou v ní zastoupeny některé dominantní vlnové délky. U vysokotlaké rtuťové výbojky se velká část spektrální distribuce nachází v oblasti světla, převážně v oblasti kratších vlnových délek. Kvůli zlepšení kvality produkovaného světla je u většiny výbojek použit luminofor, jenž část vytvořeného záření výbojkou propouští a část převádí na delší vlnové délky. Tím je zajištěno pokrytí spektra také v žluté i červené oblasti spektra. Na rozdíl od nízkotlakých výbojů ten vysokotlaký probíhá za mnohem vyšších teplot a tlaků, což klade zvýšené nároky na tvorbu vhodných hořáků. Pro rtuťové vysokotlaké výbojky je převážně používán vnitřní hořák z křemičitého skla, který propouští UV záření. Hořák je bez výjimky vyráběn jako dvouelektrodový (dvouelektrodový), přičemž elektrody jsou vyrobené z wolframu s emisní vrstvou ze sloučenin barya, stroncia a vápníku, někdy také thoria. Pro snadnější zapalování je ve většině případů použita třetí, zapalovací elektroda. Která se nachází v blízkosti jedné ze přírodních elektrod a přes vnější rezistor je na ni přiveden potenciál protější přírodní elektrody. Tím dochází ve fázi startu výbojky k zápalu výboje mezi zapalovací elektrodou a elektrodou přírodní. Tento výboj ionizuje vnitřní prostor hořáku a posléze dochází k zápalu celého výbojového prostoru. Takže výbojka nepotřebuje žádné speciální zapalovače a k jejímu uvedení do provozu postačuje síťové napětí a v sérii připojená správně dimenzovaná tlumivka pro stabilizaci VACH. Veškeré elektrody jsou v zátavu protaženy přes molybdenovou fólii [5].

Plynná náplň hořáku se skládá z argonu a malého množství rtuťových par. Rtuť je zde dávkována pouze v potřebném množství a za provozu je všechna odpařena. Takže výboj nehoří v přesycených parách, ale v parách přehřátých, které jsou výhodnější pro stabilitu hoření a mají jistou netečnost na vnější vlivy (například kolísání teplot nebo změnu polohy). Provozní vnitřní tlak hořáku se pohybuje okolo 100 kPa. Především pro dobrou tepelnou izolaci hořáku a pro uchycení luminiscenční vrstvy je u výbojek používána i vnější baňka ze sodno-vápenatého a někdy i z boro-křemičitého skla. Plynná náplň této baňky se skládá z argonu a dusíku o tlaku přibližně 50 kPa. Pro účely dezinfekční jsou tyto zdroje bez vrstvy luminoforu často využívány jako zdroj UV záření. Zdroje byly využívány především do pouličních svítidel nebo na osvětlování velkých hal. Nicméně pro účely osvětlování jsou dnes používány spíše výjimečně, protože v porovnání s ostatními vysokotlakými zdroji dosahují nižších účinností a také kvalita jejich produkovaného světla je velmi nízká. Na *Obrázku 3-41* je znázorněno schéma konstrukce vysokotlaké rtuťové výbojky. [5, 6]

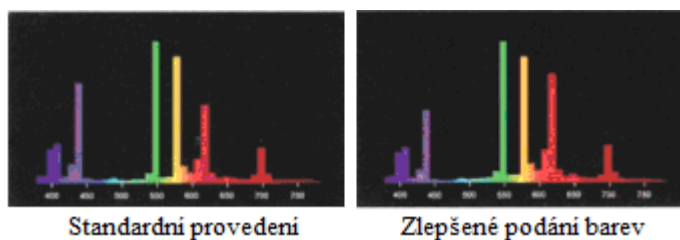


Obr. 3-41 Konstrukce vysokotlaké rtuťové výbojky [59].

3.3.7.A Provozní parametry vysokotlakých rtuťových výbojek

Vysokotlaké výbojky jsou vyráběny v ustálených příkonových řadách standardně od 50 do 1 000 W, ale je možné najít také speciální výbojky pro průmyslová použití s jmenovitými příkony nad 10 kW. Produkovaný světelný tok je u těchto zdrojů podle katalogových údajů v rozmezí 2 300 až 58 500 lm a měrný výkon v závislosti na jmenovitém příkonu výbojky a jejím provedení dosahuje hodnot od 20 do 60 $\text{lm}\cdot\text{W}^{-1}$. Nízká účinnost je dána především nízkou účinností samotného výboje produkovat záření v oblasti světla. Dále pak nízkou účinností použitého luminoforu a celkově velkými ztrátami na používaných konvečních předřadných systémech.

Spektrální distribuce vysokotlaké rtuťové výbojky s použitým lumioforem je znázorněna na *Obrázku 3-42*. Náhradní teplota chromatičnosti se pohybuje mezi 2 900 až 3 500 K a index podání barev se u běžných výbojek pohybuje mezi hodnotami 30 až 50. U výbojek se zlepšeným podáním barev pomocí kvalitnějšího luminoforu může dosáhnout k hodnotě 65.



Obr. 3-42 Spektrální distribuce u vysokotlakých rtuťových výbojek [59].

Střední doba života těchto zdrojů se pohybuje mezi 10 000 až 16 000 hodin, přičemž speciální výbojky mají dobu života kratší, někdy pouze 1 000 hodin. Výbojky během celého života poskytují přijatelnou stabilitu produkovaného světelného toku s poklesem okolo 20 %. I když výrobce neuvádí předepsanou polohu provozu těchto zdrojů, může být závislost světelně-technických a elektrických parametrů na poloze zdroje výrazná. Nejlepší účinnosti dosahují výbojky všeobecně v tzv. výchozí poloze 0° (svislé patičí vzhůru). Ovlivnění provozních parametrů také závisí na okolních klimatických podmínkách a směru i rychlosti okolního proudícího vzduchu. Vysoká spolehlivost výbojek je zaručena i při velkém rozptylu okolních teplot a zaručený zápal je až do teplot -25 °C. Provozní parametry výbojek jednotlivých typů s rozdílným jmenovitým příkonem jsou uvedeny v následující *Tabulce 3-5*.

Tab. 3-5 Provozní parametry vysokotlakých rtuťových výbojek [6].

Jm. příkon (W)	Jm. tok (lm)	Jm. proud (A)	M. výk. (lm.W ⁻¹)	Patice
50	1800	0,6	36	E27
80	3800	0,8	47,5	E27
125	6300	1,15	50,5	E27
250	13000	2,15	52	E40
400	22000	3,25	55	E40
700	38500	5,4	55	E40
1000	58500	7,5	58,5	E40

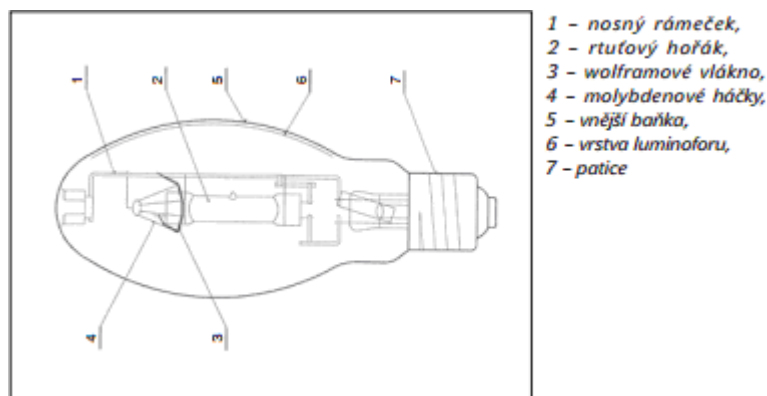
Provedení vysokotlakých rtuťových výbojek s luminoforem a bez luminoforu, vybavených závitem/patící E27, E40 a B22d, je uvedeno na následujícím *Obrázku 3-43*.



Obr. 3-43 Provedení rtuťových vysokotlakých výbojek [5].

3.3.8 Směšová výbojka

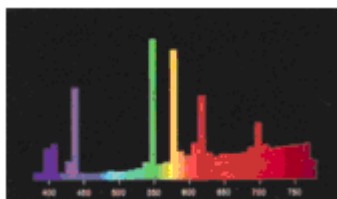
Směšová vysokotlaká výbojka vznikla vylepšením rtuťové výbojky přidáním wolframového vlákna do prostoru vnější baňky. Vzniká tak kombinace teplotního světelného zdroje se spojitým vyzařovaným spektrem a rtuťové výbojky se spektrální distribucí především v oblasti krátkých vlnových délek světla. Vlákno zároveň slouží jako předřadný systém. Stabilizuje pracovní bod VACH a tím lze tuto výbojku použít jako přímou náhradu žárovky. Konstrukční schéma tohoto světelného zdroje je znázorněno na *Obrázku 3-44*.



Obr. 3-44 Konstrukční schéma směsové výbojky [59].

3.3.8.A Provozní parametry směsové výbojky

Tyto výbojové zdroje dnes nenachází takřka žádné uplatnění a jsou nabízeny pouze několika výrobci ve čtyřech příkonových variantách od 100 do 500 W. Jejich dosahovaný světelný tok se pohybuje v rozsahu 1 100 až 13 000 lm a měrný výkon se jen lehce pohybuje nad hodnotou konvenčních světelných zdrojů v závislosti na jm. příkonu od 11 do 26 $\text{lm}\cdot\text{W}^{-1}$. Jsou to zdroje přímo určené k připojení do napájecí sítě, jejich jmenovité napětí se pohybuje od 225 do 235 V. Tyto světelné zdroje produkují světlo o náhradní teplotě chromatičnosti od 3 300 do 3 800 K s indexem podání barev od 50 do 72. Spektrální distribuce směsové výbojky je znázorněna na Obrázku 3-45. Provozní parametry základního sortimentu směsových výbojek jsou uvedeny v Tabulce 3-6 [5].



Obr. 3-45 Spektrální distribuce směsové výbojky [59].

Tab. 3-6 Provozní parametry směsových výbojek [6].

Jm. příkon (W)	Jm. tok (lm)	Jm. proud (A)	M. výk ($\text{lm}\cdot\text{W}^{-1}$)	Patice
100	1 100	0,5	11	E27
160	3 200	0,7	20	E27
250	5 500	1,2	22	E40
500	13 000	2,3	26	E40

Střední doba života těchto zdrojů se pohybuje mezi 3 000 až 6 000 hodin, přičemž tuto dobu určuje doba do přerušení wolframového vlákna. Jsou vyráběny také varianty se speciálně upraveným materiálem vnější baňky, která propouští UV záření v oblasti UVA. Tyto zdroje byly používány pro účely opalování v soláriích. Ukázka provedení směsových výbojek s luminoforem je znázorněna na Obrázku 3-46 [6].



Obr. 3-46 Provedení směsových výbojek [5].

3.3.9 Halogenidová výbojka

Tento typ vysokotlaké výbojky byl podobně jako výbojka směšová vyvinut z vysokotlaké rtuťové výbojky, která dosahovala nevysokých účinností a nízké kvality produkovaného světla. Zjednodušeně řečeno halogenidová výbojka je výbojka rtuťová, ve které světlo vzniká nejen v parách rtuti, ale i produktech štěpení halogenidů. Výsledkem je bohatší spektrální distribuce, vyšší účinnost přeměny elektrické energie na světlo nebo potřebnou oblast záření a delší život zdroje. V současnosti je možné tyto výbojky rozdělit do dvou velkých skupin. První, vývojově starší a svojí konstrukcí bližší k rtuťovým výbojkám je použití s klasickými křemennými hořáky. Druhou skupinu tvoří výbojky moderního provedení s keramickými hořáky. Obě skupiny se liší svými provozně-technickými parametry, ale i dosahovanými parametry světelně-technickými. Na *Obrázku 3-47* jsou znázorněny obě varianty provedení hořáku.

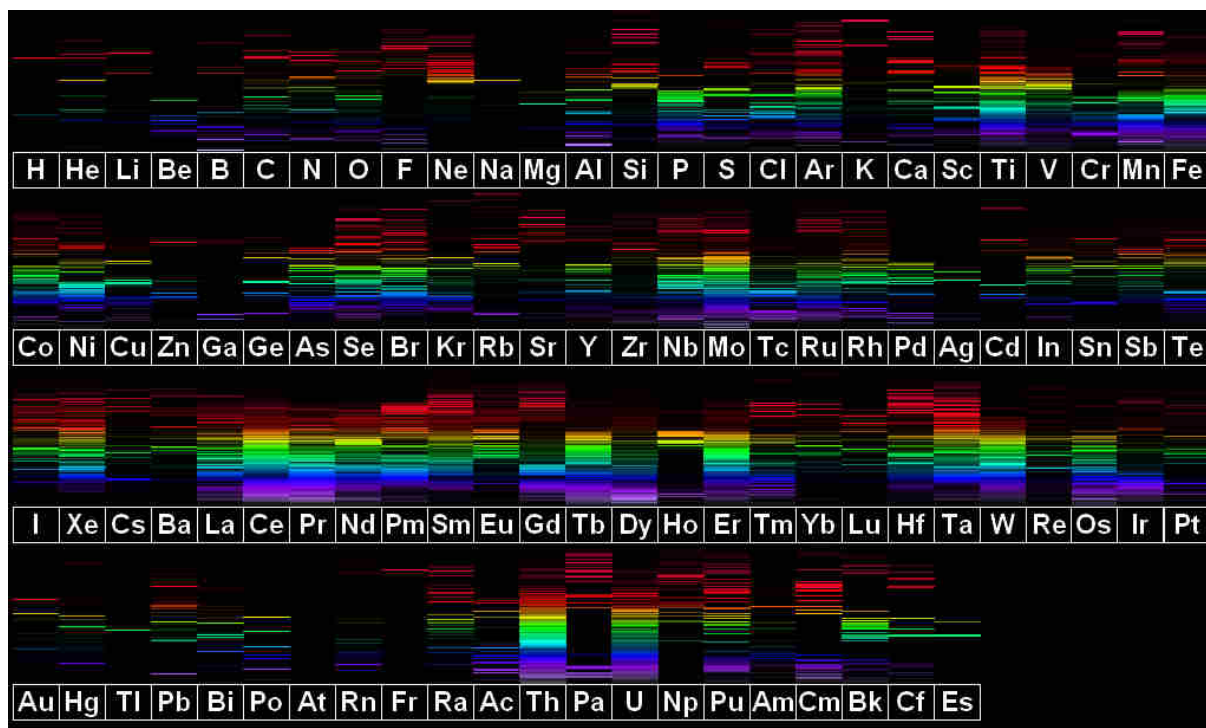


Obr. 3-47 Hořák halogenidové výbojky.

U výbojek s křemenným hořákem je konstrukce výbojové dráhy totožná s rtuťovým předchůdcem, nicméně s tím rozdílem, že pro zapalování není užíváno zapalovací elektrody, takže je nutné používat externí zapalovač schopný generovat zapalovací impulsy o vrcholové hodnotě až 5 kV. Dále z důvodů možné reakce s materiály uvnitř hořáku bylo nutné emisní vrstvu napájecích elektrod vytvořit z netečného thoria.

U výbojek v provedení s keramickým hořákem je pro samotný hořák v současné době využíváno především korundové keramiky z oxidu hlinitého, ale za účelem dosažení vyšších teplot se začíná používat také oxid yttritý, který je stálejší při vyšších teplotách. Keramické hořáky lze zhotovit i v malém provedení, což umožňuje snížit jmenovitý příkon až na desítky W při udržení stabilních podmínek hoření.

Největším problémem při vývoji těchto zdrojů byla plynná náplň. Prvotní myšlenkou bylo naplnit výbojový prostor různými kovy, jejichž rezonanční čáry zaplní požadovanou oblast spektra. Bohužel kvůli jejich vzájemným chemickým reakcím a různým tlakům jejich nasycených par to nebylo možné. Nejvýhodnější se ukázalo jejich vpravení do hořáku ve formě halogenidů bromu a jódu. Jako plynná náplň se používá argon s neonem v případě výbojek s rychlým startem (do automobilových světlometů) také xenon. Xenon se také používá ve výbojkách bez rtuti nebo s jejím sníženým obsahem. Daný halogenid se po dosažení potřebných teplot a tlaků uvnitř hořáku termicky rozkládá na daný prvek, který se účastní procesu ionizace a vybuzení na vyšší energetickou hladinu. V chladnějších místech hořáku, především u stěny v centrální části hořáku, dochází k opětovnému slučování uvolněného prvku na halogenid a tento proces se cyklicky opakuje. Na *Obrázku 3-48* jsou znázorněny spektrální čáry, které vyzařují vybuzené páry všech prvků při nízkém tlaku (řádově jednotky Pa). A *Tabulka 3-7* uvádí nejčastěji užívané prvky, které se ve stopovém množství vpravují ve sloučení s bromem nebo jódem do hořáku halogenidové výbojky. Z *Obrázku 3-48* je patrné, že především prvky vzácných zemin mají spektrální distribuci nejbohatší, proto je jich pro tento účel také nejvíce využíváno.



Obr. 3-48 Spektrální čáry par jednotlivých prvků ve viditelné oblasti [60].

Tab. 3-7 Nejčastěji používané prvky pro halogenidové výbojky [6].

Skupina prvků	Jejich výčet
Prvky s intenzivními rez. Čárami	Na, Tl, In, Ga, Li
Prvky vzácných zemin	Dy, Ho, Tm, Sc, Nd, Pr
Prvky s bohatým vyzařováním v UV	Fe, Co, Pb

Konkrétní ověřené halogenidy prvků dopravované do hořáků halogenidových výbojek jsou popsány včetně svých vlastností a parametrů v *Tabulce 3-8*.

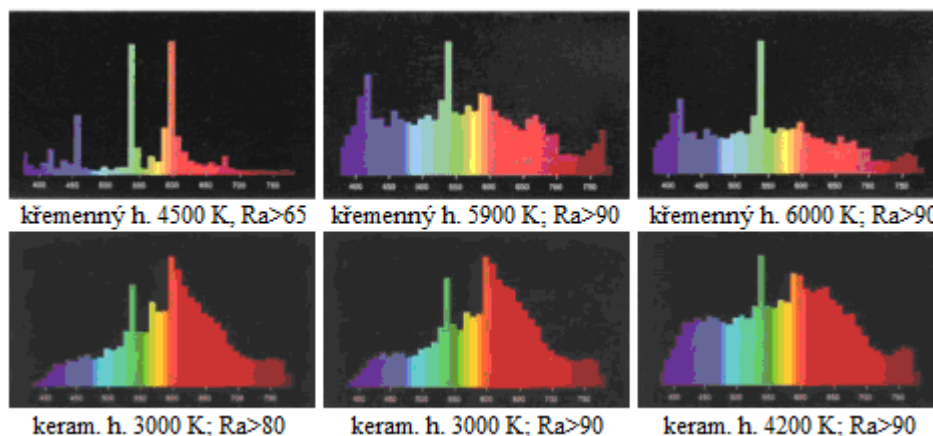
Tab. 3-8 Halogenidy pro halogenidové výbojky [5, 6].

Složení	Vlastností, parametry	M.výk (lm.W ⁻¹)	Ra
NaI+TlI+InI	$\lambda_{Na}=589$ a $589,6$ nm; $\lambda_{Tl}=535$ nm; $\lambda_{In}=410$ a 451 nm; pouze křemenný hořák	70 až 110	65 až 70
DyI ₃ +HoI ₃ +TmI ₃ +TlI+NaI+CsI	$\lambda_{Tl}=535$ nm zvyšuje měrný výkon, vysoce kvalitní směs, pro oba typy hořáku	80 až 90	>80
ScI ₃ +NaI+ThI ₄ +LiI		100	75
SnBr ₂ +SnI ₂	Vysoce kvalitní, spojité spektrum,č. těleso	60	98
PbI ₂ +GaI ₃	Maximum v intervalu 350 až 450 nm		
FeI ₂ +CoI ₂	Maximum v intervalu 300 až 400 nm		

3.3.9.A Provozní parametry halogenové výbojky

U halogenových výbojek starší výroby s keramickým hořákem je dostupná příkonová řada od 70 do cca 2 100 W, nicméně jsou k dispozici výbojky s příkonem až 18 000 W. U výbojek moderního provedení s keramickým hořákem jsou k dispozici příkonové řady nižších hodnot od 15 do 400 W. Dosahovaný měrný výkon je opět závislý na příkonu i provedení a u křemenných hořáků dosahuje hodnot od 70 do 120 lm.W⁻¹, u keramických od 85 do 120 lm.W⁻¹. Dále tyto zdroje dosahují velkého rozsahu produkovaného světelného toku od 2 000 do 1 700 000 lm.

Podle chemických sloučenin v prostoru hořáku je možné dosáhnout výsledného širokého rozsahu náhradních teplot chromatičnosti od 3 000 do 7 250 K s indexem podání barev od cca 65 do 98. Halogenidové výbojky se všeobecně potýkají s nestabilitou teploty chromatičnosti během svého života, která se u výbojek s křemenným hořákem může měnit až o 600 K a u výbojek s keramickým hořákem o zhruba 200 K. Provozní a především světelně-technické parametry výbojky jsou velmi závislé na vnějších vlivech, především na klimatických podmínkách okolí, nuceného proudění vzduchu v okolí výbojky a velmi významně také na poloze. Spektrální distribuce halogenidových výbojek při použití různých hořáků s odlišnou náhradní teplotou chromatičnosti je uvedena na následujícím *Obrázku 3-49* [5, 6, 61].



Obr. 3-49 Spektrum halogenidových výbojek [61, 62].

Střední doba života těchto zdrojů s křemenným hořákem je výrobcí uváděna v rozsahu 10 000 až 15 000 hodin, výbojky s keramickým hořákem mají dobu prodlouženou na 20 000 a v některých případech až na 35 000 hodin. Naopak u výbojek pro průmyslové použití s vyzářováním v UV oblasti je kvůli vyššímu teplotnímu namáháním střední doba snížena na přibližně 1 000 hodin.

Příkonové řady a dosahovaný měrný výkon u výbojek v provedení s různou patičí jsou uvedeny v *Tabulce 3-9* pro křemenné hořáky a v *Tabulce 3-10* pro keramické hořáky.

Tab. 3-9 Parametry halogenidových výbojek s křemennými hořáky [6].

Patice	G12,PG12	RX7s	Fc2	E40 vál.	E40 elip.	E40 lum.
Jm. příkon (W)	70;150	70;150	250;400	250;400; 1000;2000	70;100; 150	70;100;150; 250;400,1k
M.výkon lm/W	71 až 87	71 až 87	82 až 90	80 až 120	71 až 86	64 až 91

Tab. 3-10 Parametry halogenidových výbojek s keramickými hořáky [6].

Patice	G8,5;6,5	G12	PG12-2	E27; E40	G22	Rx7; Fc2
Jm. příkon (W)	15;20;35; 70	35;70;100; 150	70;150	50;70;100; 150;250	250;400	70;150; 250
M.výkon lm/W	85 až 96	92 až 106	86 až 87	94 až 107	100až 108	94 až 104

Příklady realizace halogenidových výbojek v různém provedení jsou uvedeny na *Obrázku 3-50*.



Obr. 3-50 Provedení halogenidových výbojek [5].

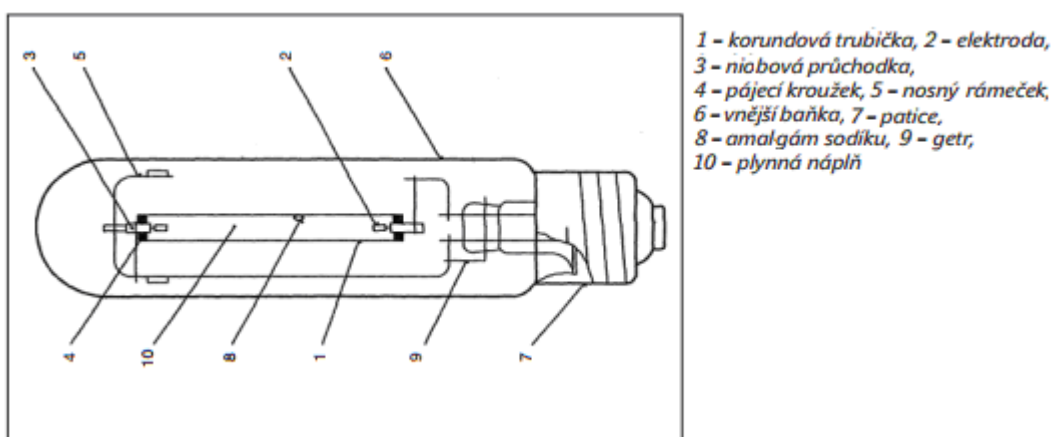
3.3.10 Sodíková vysokotlaká výbojka

Sodíkové vysokotlaké výbojky dnes tvoří dominantní světelný zdroj pro pouliční osvětlování, kdy během 90. let vytlačily do té doby používané vysokotlaké rtuťové výbojky. U svého předchůdce – nízkotlaké sodíkové výbojky bylo využíváno výboje nasycených sodíkových par při provozním tlaku okolo 1 Pa, tedy v okolí maxima křivky účinnosti znázorněné na grafu na *Obrázku 3.21*. Druhé maximum vyzařování přesycených sodíkových par ve viditelném spektru se nachází okolo hodnot 10 kPa. Právě tuto oblast také vysokotlaké sodíkové výbojky využívají a jejich provozní tlak se pohybuje v rozsahu 3 až 60 kPa [6].

Výboj při tomto tlaku je v porovnání s nízkotlakým značně rozdílný. Dosahuje nižší účinnosti přeměny elektrické energie na světlo, přibližně o 40 % nižší, proto také je maximum dosaženého měrného výkonu u dnešních nejučinnějších vysokotlakých sodíkových výbojek okolo $160 \text{ lm}\cdot\text{W}^{-1}$. Dále pak se zvyšujícím se tlakem sodíkových par se původně rezonanční čárové spektrum o vlnových délkách sodíkového dubletu 589 a 589,6 nm začíná měnit na spojitě a rozšiřuje se směrem k okrajům světelného spektra. S vyšším tlakem se tedy spektrum stává bohatším a zvyšují se kvalitativní ukazatele produkovaného světla, například index podání barev.

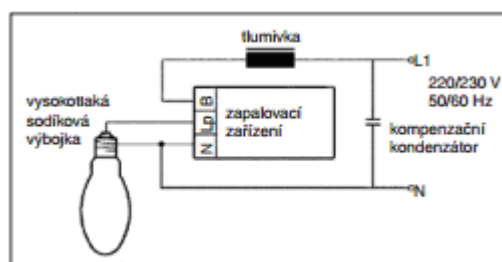
Bohužel vysoký tlak a teplota sodíkových par působí negativně na materiál hořáku, proto se dlouho dobu nedařilo tyto zdroje vyrobit. Žádné skleněné hořáky, ani z tvrdého křemičitého nebo hlinito-boritá skla v tomto agresivním prostředí nevyhovují. Teprve až v průběhu 60. let 20. století přišla firma GE s hořákem nejprve z velmi drahého monokrystalického korundu, poté

pak i s hořákem s polykrystalickou strukturou, která je používána dodnes. Výbojky se bez výjimky vyrábějí s ochrannou vnější baňkou, kde je kvůli tepelné izolaci hořáku udržováno vysoké vakuum, jenž je navíc podpořeno použitím getru pro eliminaci posledních zbytků vzduchu. Samotný hořák ve formě tenké trubičky z polykrystalického korundu se může lišit svojí délkou a vnitřním průřezem podle příkonu výbojky. Jako zapalovací plyn je možné používat rtuť v malém množství v podobě amalgámů. Nicméně nejčastěji je používán neon, k jehož zápalu jsou potřeba VN zapalovací impulsy o velikosti až 4,5 kV. V době přechodu od rtuťových výbojek byly dostupné plnohodnotné sodíkové náhrady včetně zapalování přímým síťovým napětím bez nutnosti externího zapalovače. Byla v nich využívána zapalovací směs na bázi neonu a 0,5 % argonu. Nevýhodou této koncepce byl až o 25 % nižší dosahovaný měrný výkon. V dnešních moderních sodíkových výbojkách je užíváno jako plnicího plynu především xenonu. Vzhledem k vysokým provozním teplotám a dynamickému namáhání bylo velkým problémem najít vhodný materiál pro přírodní elektrody, jenž zároveň tvoří průchodky do hořáku. Jediným chemicky odolným materiálem se stejnou tepelnou roztažností jako má korund je niob. Popis konstrukce vysokotlaké výbojky je uveden na následujícím *Obrázku 3-51* [5, 6, 63].



Obr. 3-51 Konstrukce vysokotlaké sodíkové výbojky [63].

Na *Obrázku 3-52* je znázorněno elektrické schéma zapojení vysokotlaké sodíkové výbojky k zapalovacímu systému. Pro stabilizaci pracovního bodu na VACH je využíváno externí tlumivky. V poslední době jsou některá svítidla osazována sodíkovými výbojkami vybavena elektronickým předřadným systémem, který umožňuje dosažení lepšího a méně dynamického startu výbojky a prodloužení jejího života. Díky vysokým provozním frekvencím okolo 40 kHz je obdobně jako u nízkotlakých rtuťových výbojek dosaženo vyšší účinnosti a výsledný měrný výkon může být tímto způsobem navýšen až o 15 %.



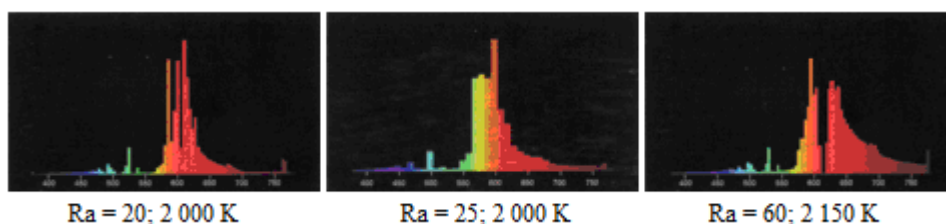
Obr. 3-52 Schéma zapojení vysokotlaké sodíkové výbojky [63].

3.3.10.A Provozní parametry sodíkové vysokotlaké výbojky

Vysokotlaké sodíkové výbojky jsou dnes nabízeny ve dvojím provedení. S jmenovitým příkonem od 70 do 1 500 W jsou dostupné výbojky v klasickém provedení s paticí E27 nebo E40. Pro příkony menší cca 70 až 400 W jsou k dispozici s paticemi RX7s a Fc2. A pro nejmenší příkonové řady 35 až 100 W jsou vybaveny paticemi GX12 nebo PG12.

Dosahovaný měrný výkon se pro výbojky s nejvyššími příkony v závislosti na provedení a plnicím plynu hořáku pohybuje od 80 do 150 $\text{lm}\cdot\text{W}^{-1}$. U výbojek v miniaturním provedení padá tato hodnota až na 50 $\text{lm}\cdot\text{W}^{-1}$. Produkovaný světelný tok těchto zdrojů je v rozsahu 1 300 až 130 000 lm.

Pro zlepšení kvality produkovaného světla, která se posuzuje prostřednictvím indexu podání barev, lze prakticky udělat tři kroky. Prvním je zvýšení provozního tlaku, druhým je přidání příměsí dalších vhodných prvků do hořáku tak, aby se podílely na bohatší spektrální distribuci. A posledním krokem je pokrytí vnější baňky vhodným luminoforem, jenž část vyprodukovaného světelného toku přemění na delší vlnové délky a tím obohatí červenou a žlutou část vyzařovaného spektra. U výbojek běžného provedení, které jsou dnes ve velkém používány pro pouliční osvětlení, je hodnota indexu podání barev R_a okolo 20 až 30. Dále pak výbojky zpravidla v menších příkonových řadách jsou dnes dostupné se zlepšeným podáním barev a jejich hodnota R_a se pohybuje mezi 60 a 65. Nejmodernější sodíkové výbojky s označením „De luxe“ dosahují vynikajícího podání barev s hodnotou R_a převyšující 80. Náhradní teplota chromatičnosti těchto zdrojů se pohybuje v rozsahu 2 000 až 2 500 K. Na *Obrázku 3-53* jsou znázorněny spektrální distribuce vysokotlakých výbojek v různém provedení [6, 63].



Obr. 3-53 Spektrální distribuce vysokotlakých sodíkových výbojek [63].

Příkonové řady a provedení patic vysokotlakých sodíkových výbojek včetně dalších parametrů jsou uvedeny v *Tabulce 3-11*.

Tab. 3-11 Příkonové řady a provedení vysokotlakých sodíkových výbojek [6].

Provedení	Jm. příkon (W)	M.výk. ($\text{lm}\cdot\text{W}^{-1}$)	Patice
Standardní čirá baňka	50; 70; 100; 150; 250; 400; 1 000	74 až 130	E27; E40
Se zvýšeným tlakem a Xe	50; 70; 100; 150; 250; 400; 600; 1 000	88 až 150	E27; E40
S křemennou vnější baňkou	70; 150; 250; 400	97 až 120	RX7s, Fc2
S Ne+Ar směsí	68; 110; 210; 350	79 až 97	E27; E40
Čirá baňka; $R_a > 60$	150; 250; 400	87 až 95	E40
Čirá baňka; $R_a > 80$ s křemen. b.	50; 100	48	GX12
Čirá baňka; $R_a > 80$ s válč. b.	35; 50; 100	37 až 50	PG12

Doba života tohoto světelného zdroje se v závislosti na provedení a výrobci pohybuje v rozmezí 12 500 až 35 000 hodin. Pro dvojtrubicová provedení, ve kterých se trubice buď střídají nebo po ukončení života jedné pracuje druhá, je dosahováno střední doby života až

55 000 hodin. Tyto dvojtrubicová provedení umožňují okamžitý opakovaný start. Proto jsou používány v aplikacích s potřebou velmi rychlého opětovného startu při výpadku napájení. Stejně jako u halogenidových výbojek je možné okamžitého startu dosáhnout také vygenerováním zapalovacího impulsu o vrcholové hodnotě až 50 kV. Nicméně pro tento zápal je zapotřebí specializovaných zapalovačů a výbojkám se tímto způsobem značně zkracuje život. Ukázka provedení vysokotlakých sodíkových výbojek je na *Obrázku 3-54* [6].



Obr. 3-54 Provedení vysokotlakých sodíkových výbojek [5].

3.3.11 Sirná výbojka

Technologie těchto výbojek byla navržena Michaelem Uryem a Charlesem Woodem již v roce 1990. Nicméně další významnější rozvoj této technologie nastal až v roce 1994, kdy se sirná výbojka laboratorně začala používat jako plazmový zdroj silného UV záření, které dokázalo hubit organismy. Jako první se vyráběly modely Solar 1000 od roku 1994 a Light Drive 1000 vyráběný od roku 1997. Nicméně produkce těchto světelných zdrojů skončila v roce 1998. Hlavním důvodem byly vysoké pořizovací náklady a ztlačně levnější a parametrově lepší konkurence ze strany halogenidových výbojek. Teprve v roce 2002 získala licenci na jejich výrobu firma LG Group. A ihned začaly být jejich sirné výbojky instalovány takřka po celém světě. Navíc v té době (v roce 2001) čínská firma Ningbo začala vyrábět svoji verzi těchto lamp, jenž měla přinést konkurenční boj, který se ovšem pro vysokou cenu a pouze pro své specifické upotřebení nakonec nekonal. V roce 2006 licenci na výrobu těchto zdrojů koupila firma LG Electronic, která uvedla na trh komerčně úspěšný model s označením Plasma Lighting System [5].

Tyto výbojky patří do skupiny bezelektrodových, nicméně v porovnání s bezelektrodovou (indukční) zářivkou je energie do tohoto zdroje dopravena prostřednictvím silného mikrovlnného pole. Samotný světelně aktivní prvek světelného zdroje je tvořen malou „ampulkou“ z křemenného skla s relativně malým vnitřním obsahem rtuti, halogenidů a také síry, proto používaný název „sirná výbojka“. V plazmatickém výboji tohoto hořáku dosahují jednotlivé směsi velmi vysokých provozních tlaků přes 1 MPa. Díky tomu a díky principu buzení, kde není nutné příliš sledovat vodivosti jednotlivých přítomných látek, je možné do vzniklého výboje vkládat nové prvky a sloučeniny, jejichž použití například v halogenidových výbojkách není možné. Nedochozí zde ani k nežádoucím reakcím s materiálem elektrody a ani ke vzniku chladných míst, které určují maximální dosažitelný tlak nasycených par. Proto tyto výbojky představují potenciál pro použití dalších nových směsí, jejichž výsledné spektrum bude více vyhovovat potřebám člověka [5, 30].

Momentálně nejčastější konstrukce, použitá například i u komerčně nejprodávanějších výbojek Lifi, je tvořena oválným nebo elipsoidním rezonančním prostorem, do kterého je přiváděno elektromagnetické mikrovlnné záření z magnetronu. U výbojek Lifi je jmenovitá frekvence tohoto záření okolo 900 MHz, ale u jiných výrobců se pohybuje v rozsahu od 1 do 2 GHz. Ze záření se v rezonančním prostoru stává stojaté s hlavní kmitnou v místě upevnění „ampulky“ hořáku výbojky. Díky této koncepci je převážná část energie dopravena na potřebné místo a jen málo energie se spotřebuje na tepelné ztráty (asi 30 %) a na úniky záření (pod 5 %). Použitý magnetron je štěrbinového typu s jmenovitým příkonem do 300 W. Vysokofrekvenční energie mezi magnetronem a rezonanční komorou je přenášena prostřednictvím koaxiálního kabelu. Rezonanční komora je vsazena do chladiče pro odvod tepelných ztrát, přičemž povrchová teplota chladiče může během provozu dosáhnout až 200 °C. Magnetron bývá napájen ze zdroje nízkého napětí, většinou 24 až 30 V. U některých magnetronů je umožněn provoz s regulací výkonu, nicméně za cenu změny světelně-technických parametrů [30].

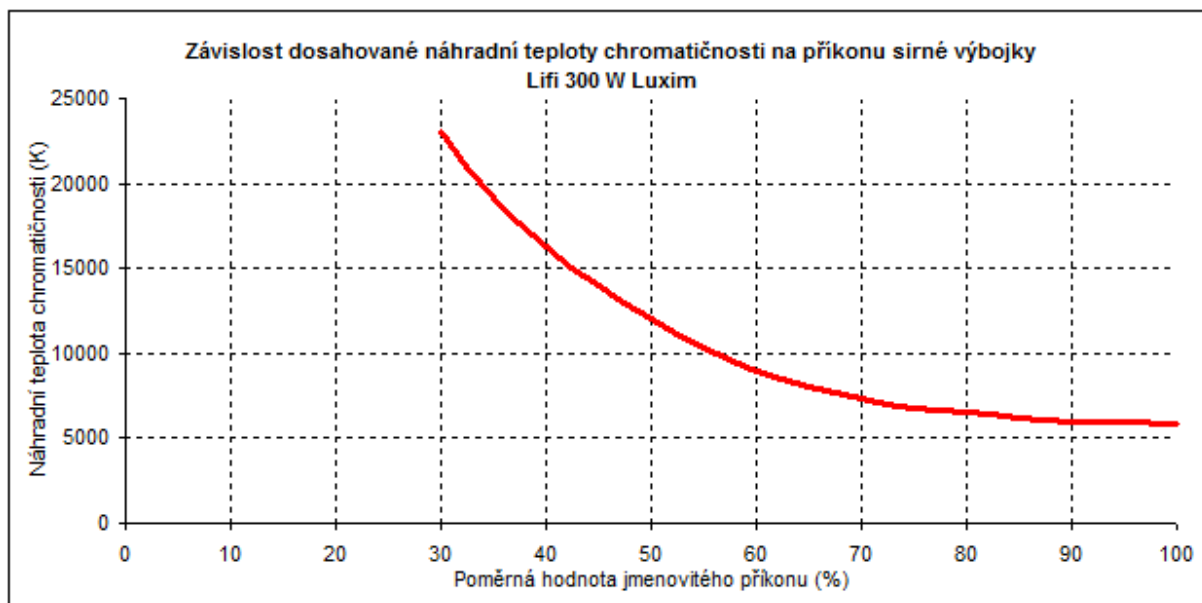
3.3.11.A Provozní parametry sodíkové vysokotlaké výbojky

Maximum rezonančních čar síry se nachází na vlnové délce 510 nm. Pomocí dalších příměsí, především halogenidů vápníku, lithia a sodíku dochází k takřka rovnoměrnému zaplnění spektra a výsledná spektrální distribuce je podobná difuznímu dennímu světlu D65. V závislosti na provedení je dosahováno různých náhradních teplot chromatičnosti od 5 000 do 10 000 K. Zároveň tento světelný zdroj poskytuje index podání barev vyšší jak 80. Dosahovaný měrný výkon je u výbojky Lifi okolo 100 až 110 lm.W⁻¹. U pokusných laboratorních modelů bylo dosaženo měrného výkonu až 160 lm.W⁻¹, což z této výbojky dělá potenciálně velmi účinný světelný zdroj. Nevýhodou je použití vysokoenergetického mikrovlnného záření, jehož úniky, především z přední části zdroje, mohou být nebezpečné pro lidské zdraví a je nutné se proti nim bránit například vhodnou kovovou sítkou. Sirná výbojka Lifi 300 W od výrobce Luxim má provozní parametry popsané v následující Tabulce 3-12 [30].

Tab. 3-12 Provozní parametry sirné výbojky Lifi 300 W Luxim [64].

Veličina	Hodnota/rozsah hodnot	Jednotka
Typický příkon	267 (při nap. napětí 28 V)	W
Napájecí napětí	28 +/- 1	V
Maximální zvlnění napájecího napětí	300	mV
Jmenovitý proud	9,5	A
Vrcholová hodnota proudu	14	A
Index podání barev (CRI)	94	
Regulace výkonu	20 až 100	%
Jmenovitá náhr. teplota chromatičnosti	5 300	K
Střední doba života	10 000	h
Doba náběhu na 90 %	Max. 60	s
Energie vyzářená v UVA	4	W
Energie vyzářená v IR	16	W
Jmenovitý světelný tok	18 300	lm

Je-li předřadný systém sirných výbojek uzpůsoben pro regulaci výkonu – tzv. stmívání, tak tento snížený příkon ovlivňuje teplotu a tlak uvnitř baňky a tím i výsledné světelně-technické parametry. Nejvýrazněji je tato závislost vidět na změně náhradní teploty chromatičnosti produkovaného záření. Graf této závislosti je uveden na Obrázku 3-55. Příklad konstrukce sirných výbojek je uveden na Obrázku 3-56.



Obr. 3-55 Závislost změny náhradní teploty chromatičnosti na změně příkonu sirmé výbojky.



Obr. 3-56 Příklad provedení sirmých výbojek [5].

3.3.12 Xenonová výbojka a výbojka s krátkým obloukem

Xenonové výbojky a všechna provedení výbojek s krátkým obloukem lze zahrnout do jedné kapitoly. V podstatě se jedná o upravené halogenidové výbojky, které se ale svými provozními vlastnostmi značně odlišují. Jako plnicí plyn je využíván výhradně xenon, proto i tyto výbojky jsou označovány jako „xenonové“. Výhodou použitého xenonu je nulová chemická reakce mezi ním a dalšími chemickými látkami v hořáku i za vysokých teplot a tlaků. Například u vysokotlakých sodíkových a rtuťových výbojek, včetně staršího provedení výbojek halogenidových s křemenným hořákem, je využíváno částečné stabilizace výboje pomocí stěny hořáku. Díky tomu je sice hoření výboje stabilní, ale vznikají tím ztráty především přenosem části tepelné energie kondukcí z výboje na stěnu hořáku a dále pak do vnější baňky výbojky. Tyto ztráty ovlivňují dosažení potřebných teplot a tlaků [5].

Řešení tohoto problému poskytují výbojky s krátkým obloukem, jejichž vzdálenost výbojové dráhy (vzdálenost elektrod) je menší, než vzdálenost ke stěně hořáku. Výsledkem je dosažení velmi vysokých provozních tlaků, které přesahují hodnotu 1 MPa. Při těchto extrémních tlacích lze dosáhnout dobrých světelně-technických parametrů a vysoké účinnosti přeměny elektrické energie na světlo i u výbojek s malým jmenovitým příkonem. Materiálem elektrod je wolfram, případně molybden s emisní vrstvou z wolframu nebo oxidu thoria. Hořák pro výbojky s menším příkonem bývá vyroben z křemenného skla, u kterého je poté nutné odstínit vzniklou část

vyzářeného UV záření. Pro vyšší výkony bývá užíváno tvrdé boro-hlinité sklo nebo polykrystalický korund.

Tento druh výbojek produkuje veškerý svůj světelný tok z malého prostoru. Kompaktní provedení výbojky společně s produkcí světelného toku v podstatě z jednoho bodu umožňuje efektivně vytvářet vysoce účinné světelně aktivní prvky svítidel. Velmi vysoký jas, v řádu až desítek nebo stovek Mcd.m^{-2} upřednostňuje jejich použití pro intenzivní bodová osvětlení a promítací zařízení. V této oblasti již byly dávno vytlačeny obloukové lampy a postupně tento druh výbojek vytlačuje i halogenové žárovky v jejich vysoce kompaktním provedení. Takže většina dnešních dataprojektorů a meotarů je těmito výbojkami vybavena. Dále pak své uplatnění nachází ve fotografickém průmyslu, kde jsou tyto výbojky využívány pro vytváření scénického impulsního osvětlení. V této kategorii existuje velké množství dostupných koncepcí, které se liší svými světelně-technickými parametry. A poslední kategorií je využití těchto zdrojů pro automobilový průmysl, kde právě kompaktnost řešení společně s rychlým náběhem světelného toku s vysokou účinností a ve srovnání s konvenčními zdroji s výrazně delším životem, jsou optimálními světelnými zdroji pro tento účel.

3.3.12.A Provozní parametry xenonových vysokotlakých výbojek

Xenonové výbojky jsou vyráběny v nejrůznějších provedeních s jmenovitými příkony v rozsahu od 50 do 12 000 W. Jejich dosahovaný měrný výkon se v závislosti na provedení, jmenovitém příkonu a výrobci pohybuje v rozsahu 19 až 80 lm.W^{-1} , nicméně jsou výjimky, kdy výbojky s vysokými jmenovitými příkony při optimálních napájecích podmínkách dosahují včetně předřadných systémů jmenovitého výkonu až okolo 110 lm.W^{-1} . Nižší hodnota dosahovaného výkonu je vykoupena velmi kompaktním řešením jejich provedení a především soustředěnou produkcí veškerého produkovaného světelného toku z malého prostoru. Výsledný světelný tok je u těchto zdrojů v rozsahu 500 až 550 000 lm, přičemž dosahovaný index podání barev se pohybuje mezi hodnotami 80 až 95. Speciální výbojky pro fotografický průmysl dosahují hodnot indexu podání barev v rozsahu 35 až 98. Náhradní teplota chromatičnosti se u běžných výbojek pohybuje v rozmezí od 4 200 K až po 10 000 K.

Střední doba života těchto zdrojů je značně závislá na výrobních parametrech, příkonu a externích podmínkách. Velké množství xenonových výbojek je přizpůsobeno sice krátkodobému, ale intenzivnímu provozu při vysoké účinnosti. Přičemž doba života zdroje není prioritní parametr. Takže střední doba života výbojek pro automobilový průmysl se pohybuje v rozsahu od 1 000 do 5 000 hodin, dostupné jsou také výbojky se střední délkou života 10 000 hodin. Koncepce výbojek pro promítací účely má délku života v rozsahu několika stovek hodin po cca 3 000 hodin. Příklady xenonových výbojek v různém provedení patič a jmenovitého příkonu jsou znázorněny na *Obrázku 3-57*.



Obr. 3-57 Příklad provedení xenonových výbojek.

Xenonové výbojky s velmi vysokými intenzitami jasu jsou označovány zkratkou HID (z angl. High Intensity Discharge). Většina těchto výbojek je napájena velmi účinnými předřadníky, které jsou zpravidla určeny pro nominální napětí 12 V, resp. 13,6 V. Jmenovitý příkon těchto zdrojů je velmi nízký, jedná se zpravidla o řádově desítky W, přičemž nepřesahuje 35 W. Použitý předřadný systém musí být schopen vytvořit zapalovací napěťové impulsy o vrcholové hodnotě až 23 kV. Plnicí plyn xenon totiž na rozdíl od kryptonu nebo argonu má velmi vysokou elektrickou pevnost, kterou je nutné při zapalování překonat. Střední doba života se pohybuje okolo 3 000 hodin. Příklady realizace HID xenonových výbojek pro automobilový průmysl jsou znázorněny na *Obrázku 3-58*. Barva produkovaného světla u HID výbojek při rozdílné náhradní teplotě chromatičnosti je uvedena na *Obrázku 3-59* [5].



Obr. 3-58 HID xenonové výbojky pro automobilový průmysl [65].



Obr. 3-59 Barva produkovaného světla u HID výbojek při rozdílné náhradní teplotě chromatičnosti [65].

3.4 Luminiscenční světelné zdroje

Do skupiny elektroluminiscenčních světelných zdrojů lze zařadit zdroje polovodičové, ve kterých dochází k emisi optického záření průchodem elektrického proudu. Dnes dominantním zdrojem využívajícím tohoto principu jsou světelné diody – LED (z angl. Light Emitting Diode). Dále pak organické světelné diody – OLED (z angl. Organic Light Emitting Diode), polovodičové lasery a elektroluminiscenční panely. Dnes již spíše omezeně se používají světelné zdroje s katodovou trubicí, kde světlo vzniká dopadem urychlených elektronů na luminiscenční materiál. Příkladem jsou obrazovky starých CRT monitorů, televizí, osciloskopů nebo malých reklamních ploch. Této technologii také využívá dodnes hojně užívaný zobrazovač VFD.

3.4.1 LED - Světelné diody

Světelné diody jsou polovodičové diody s upravenou šířkou zakázaného pásu tak, aby rekombinací na PN přechodu vznikalo světlo. Jejich vývoj nebyl snadný a teprve počátkem 21. století byly laboratorně vyrobeny první diody použitelné pro osvětlování. Jejich historie začíná rokem 1907, kdy H. J. Round pozoroval elektroluminiscenci na krystalu karbidu křemíku. A vůbec první polovodičovou diodu vytvořil ruský vědec a vynálezce O. V. Losev v roce 1927. Bohužel v té době nebylo pro jeho vynález využití, tak na dlouhá desetiletí upadl v zapomnění. Až teprve v průběhu druhé světové války došlo k vyrobení první usměrňovací diody na bázi germania, posléze také křemíku. S tím přišla myšlenka použít tyto „nové“ materiály na výrobu světelné diody. Nicméně křemík i germanium mají i při vysokých koncentracích dotovacích

příměsí velmi úzkou šířku zakázaného pásu. Šířka zakázaného pásu polovodičové diody souvisí s vlnovou délkou emitovaného záření, které je pro křemík a germánium v rozsahu 0,3 až 0,7 eV, což odpovídá vlnovým délkám hluboko v IR oblasti záření, pro lidské oko neviditelných. Z tohoto důvodu byly zkoumány nové materiály se širší zakázanou oblastí PN přechodu. Roku 1955 R. Braustein použil pro výrobu diody nové materiály na bázi GaAs, GaSb, InP a SiGe, které při průchodu proudu emitovaly záření opět v IR oblasti, ale na vlnových délkách blízkých světlu. Až teprve roku 1962 N. Holonyak vytvořil světelnou diodu zářící ve viditelném spektru, dioda emitovala červené světlo. Výrobou světelných diod v 60. letech pro účely především panelové signalizace tehdejší výpočetní techniky se začalo zabírat velké množství firem. Mezi nejznámější patří Fairchild, NGL a Hewlett Packard. Příklad prvních komerčně úspěšných světelných diod vyrobených v 60. letech 20. století je uveden na *Obrázku 3-60* [5, 6].



Obr. 3-60 Světelné diody 60. léta [66].

V průběhu 70. let byla zdokonalena výroba, vedle červené byla k dostání také oranžová, žlutá a později i zelená dioda. Roku 1972 byla vyrobena první „vysocescvítivá“ oranžová dioda, začaly se používat světlovody. Mezi výrobce přibýly do dnes významné společnosti v této oblasti – Philips, Motorola, Nichia. Kromě států západní Evropy a USA se světelné diody začaly také vyrábět v SSSR. Ke konci 70. let vyvinula firma Nichia první světelnou diodu emitující v oblasti UV záření. Příklady provedení světelných diod a zastoupení jednotlivých výrobců v 70. letech 20. století jsou uvedeny na následujícím *Obrázku 3-61*.



Obr. 3-61 Světelné diody 70. léta [66].

80. léta byla ve znamení pomalého zvyšování účinnosti těchto „signalizačních“ světelných zdrojů, nicméně i u těch nejúčinnějších se jednalo o hodnoty max. do 3 lm.W^{-1} . Také se ustálila konstrukce pouzdra do podoby epoxidových průhledných nebo podle barvy produkovaného světla zbarvených pryskyřic. Převážná většina pouzder byla kruhového průřezu o standardizovaných rozměrech 1; 1,5; 2; 3; 5; 7; 10 a 20 mm. Jmenovitý proud se pohybovat v rozmezí 10 až 50 mA a k dispozici byly i vícebarevné (vícečipové) provedení v jednom pouzdře. Příklad světelných diod z 80. let je uveden na *Obrázku 3-62*.

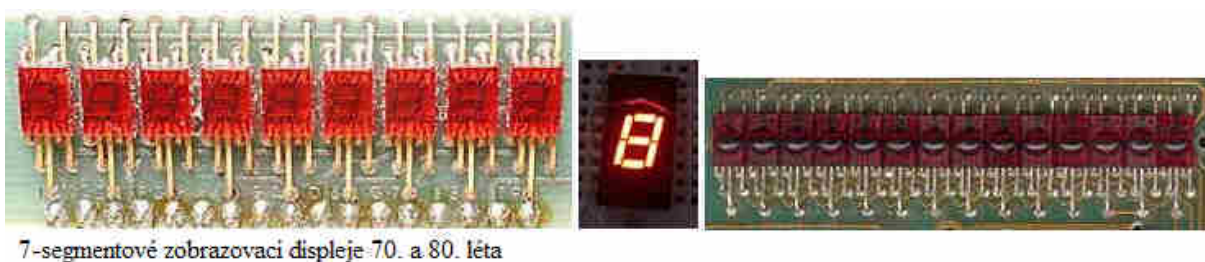


Obr. 3-62 Světelné diody 80. léta [66].

Další zvyšování účinnosti bylo ve znamení počátku 90. let. Pro signalizační účely byly vyvinuty tzv. nízkopříkonové LED s jmenovitým proudem v rozmezí 1 až 2 mA. Zásadní událost se odehrála v roce 1993, kdy S. Nakamura demonstroval funkci první modré LED. Což vedlo k vytvoření prvních bílých světelných diod, které byly poprvé v roce 1995 použity pro osvětlení interiérů. K vytvoření bílé LED byly používány čtyři způsoby, z nichž dva jsou používány dodnes. Nejprve se vyžívalo spojení červené, zelené a modré diody. Tato koncepce poskytovala méně kvalitní světlo s nespojitým spektrem, především v oblasti dlouhých vlnových délek. Proto také výrobci přišli s druhou koncepcí, která vycházela z té první, ale byla přidána žlutá dioda. I když kvalita světla se zvýšila, časová nestálost jednotlivých čipů vedla ke změnám kolorimetrických parametrů během jejich života. Třetí koncepce, která je převážně používána do dnes je postavena na modré diodě s luminiforem, kde část modrého záření prochází přes luminofor přímo a část je ho převedena do oblasti delších vlnových délek. Tím vzniká spojitě spektrum a změnou vlastností luminoforu je možné měnit světelně-technické vlastnosti světelného zdroje. Poslední koncepcí je využití světelných diod, jenž své záření emitují v UV oblasti, které je opět pomocí luminoforu převedeno do viditelné oblasti spektra. Příklad světelných diod z 90. let je uveden na *Obrázku 3-63*.



Obr. 3-63 Světelné diody 90. léta.



Obr. 3-64 Zobrazovače LED [5, 66].

Vedle jednotlivých signalizačních světelných diod se u digitálních systémů používají zobrazovače buď v podobě tzv. sedmissegmentového pro zobrazování čísel, případně hexadecimálních znaků, nebo v šestnáctissegmentové podobě pro zobrazování jednotlivých znaků

abecedy a čísel. V 70. a 80. letech se částečně používaly doutnavkové digitronové zobrazovače, ale postupně byly nahrazovány zobrazovači se světelnými diodami. V dnešní době je převážná část zobrazovačů v pasivním provedení, často s LED podsvícením, z tekutých krystalů – LCD (z angl. Liquid Crystal Display). LED zobrazovače mohou být také ve formě matic i složitých řadičem řízených displejů. Jejich výhodou je možnost dosažení vysokých jasů a aktivního vyzařování z konkrétního segmentu nebo bodu displeje. Příklady zobrazovačů a displejů na bázi světelných diod jsou zobrazeny na *Obrázku 3-64*.

Počátek prvního desetiletí 21. století byl ve znamení zvyšování účinnosti výkonných bílých diod pro účely osvětlování. Roku 2002 firma LumiLEDs přišla na trh se světelnou diodou s jmenovitým příkonem 5 W, která dosahovala až 22 lm.W^{-1} . Tím se světelná dioda se svoji účinností dostala před běžné žárovkové světelné zdroje. Roku 2003 u světelné diody vyrobené firmou Cree bylo při proudu 20 mA dosaženou měrného výkonu 65 lm.W^{-1} . Tempo zvyšování dosahovaného měrného výkonu neustále roste i v dnešní době. V roce 2007 světelná dioda o firmy Philips dosahovala 115 lm.W^{-1} při jmenovitém proudu 350 mA a v témže roce bylo laboratorně docíleno hodnoty 135 lm.W^{-1} . Dále pak v roce 2008 dioda od firmy Cree dosahuje hodnoty 161 lm.W^{-1} , v roce 2011 230 lm.W^{-1} a v roce 2012 254 lm.W^{-1} , čímž se světelná dioda, alespoň prozatím v laboratorních podmínkách, stává nejúčinnějším světelným zdrojem vůbec. U světelných diod „jednobarevných“ je možné dosahovat účinností ještě vyšší, teoretická hranice u červených diod je 260 lm.W^{-1} , u žlutých 500 lm.W^{-1} a u zelených 590 lm.W^{-1} . Reálná hodnota u dnešních prodávaných čipů se pohybuje mezi 80 až 150 lm.W^{-1} , nicméně výsledná dosahovaná hodnota měrného výkonu včetně předřadných systémů a použitých optických systémů svítidel se pohybuje v rozmezí 60 až 120 lm.W^{-1} [67].

Výkonné LED použitelné pro osvětlování jsou vyráběny v několika příkonových (proudových) řadách. S nejnižší hodnotou jmenovitého napájecího proudu 350 mA jsou k dispozici světelné diody označované jako 1 W. Další používanou hodnotou jmenovitého proudu 1 000 mA, resp. 1 050 mA nebo 1 400 mA jsou používány světelné diody označované jako 3 W. A dnes nejvýkonnějším jednočipovým provedením jsou světelné diody s jmenovitém proudem 3 000 mA, označované jako diody s příkonem 10 W. Příklady provedení těchto čipů od nejvýznamnějších světových výrobců jsou znázorněny na *Obrázku 3-65*, *Obrázku 3-66* a *Obrázku 3-67*.



Obr. 3-65 LED pro osvětlování 350 mA (1 W) [5, 67].



Obr. 3-66 LED pro osvětlování 1 000 mA (3 W).



Obr. 3-67 LED pro osvětlování 3 000 mA (10 W) [5, 67].

Pro příkony vyšší jsou používány tzv. vícečipová provedení na jedné ploše (základně). Nejčastější jmenovitou hodnotou proudu je 10 A pro 30 W provedení. Jejich ukázka včetně aplikace v reflektorových svítidlech je znázorněna na *Obrázku 3-68*. V těchto realizacích se využívá různého sérioparalelního spojení jednotlivých čipů do celku s maximálními hodnotami napětí 30 až 40 V a maximálním napájecím proudem až 10 A. Existují také realizace sériového spojení jednotlivých čipů na jedné základně včetně napájecích a stabilizačních prvků určených k přímému připojení na síťové napětí.



Obr. 3-68 LED vícečipové plošné provedení 10 A (30 W) s aplikací ve svítidlech s reflektorem.

Kromě jednočipových a reflektorových svítidel nacházejí světelné diody své uplatnění především jako ekvivalentní náhrada dnes již dosluhujících konvenčních světelných zdrojů – žárovek. Proto také jsou dnes k dispozici, vedle kompaktní zářivky, „úsporné žárovky“ vybavené světelnými diodami. Jsou vybaveny stejným závitem i podobným kompaktním provedením. Na rozdíl od kompaktních zářivek vynikají vyšší účinností (měrný výkon od 80 do 100 $\text{lm}\cdot\text{W}^{-1}$), ve většině případů s vysokým indexem podání barev, ale především delší dobou života, zpravidla 10 000 až 30 000 hodin. Mezi další nesporné výhody patří ekologické aspekty, například při náhodném rozbití neuniká ze světelného zdroje toxická rtuť. Momentální nevýhodou jsou vyšší pořizovací náklady. Příklady provedení LED v podobě ekvivalentním obyčejné žárovce jsou uvedeny na *Obrázku 3-69 až 3-72*. Levnější a méně výkonné varianty jsou vyráběny z více čipů umístěných na nosné konstrukci. Jednoduchý předřadný napájecí systém je umístěn v patici. Nevýhodou této koncepce jsou odlišné křivky svítivosti a jiné umístění optického středu v porovnání s nahrazovanými světelnými zdroji. Výsledkem je poté jiná a takřka vždy nežádoucí funkce opticky aktivních prvků ve svítidle. Řešením je provedení matné/mléčné baňky, použití jednočipového provedení s integrovanou optikou jako náhrada reflektorových žárovek a nebo s optickými prvky, které zabezpečí výsledné křivky svítivosti světelné diody totožné s původním zdrojem.



Obr. 3-69 LED žárovka E14.



Obr. 3-70 LED žárovka E27.



Obr. 3-71 LED žárovka E40.



Obr. 3-72 LED žárovka patice GUxx.

Kromě uplatnění světelných diod jako náhrada žárovek, nacházejí své místo i jako náhrada lineárních zářivek. Z pohledu účinnosti nemá toto řešení příliš velké opodstatnění. Zářivková trubice z LED je vytvořena z malých čipů umístěných podél celé trubice, zpravidla pouze z jedné strany. Integrovaný napájecí systém umožňuje přímé připojení na síť. LED trubice v tomto provedení mohou být provozovány také se svým původním předřadným systémem, nicméně je nutné nahradit startér propojkou. Výsledná distribuce světelného toku je pouze do jednoho určeného poloprostoru a tím opticky aktivní odrazné plochy ve svítidle postrádají smyslu. Svítidla je poté možné velmi zjednodušit. Nevýhodou jsou odlišné křivky svítivosti, vyšší hodnoty jasu v porovnání s původní zářivkovou trubicí, a díky nespojitosti vyzařované plochy tvorba vícenásobných stínů od jednotlivých čipů. Příklady světelných diod uspořádaných do tvaru lineární zářivky jsou znázorněny na *Obrázku 3-73*.



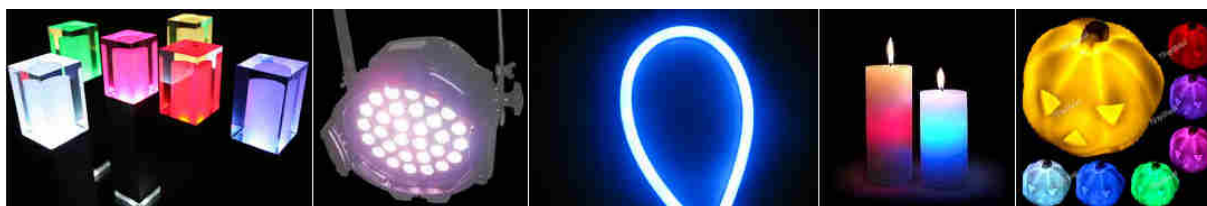
Obr. 3-73 LED náhrada zářivkových trubic.

Světelné diody se postupně dostaly do všech oblastí osvětlování. Nesmí tedy chybět ani aplikace exteriérového a pouličního osvětlování. Prozatím především jako náhrada halogenidových výbojek si své místo nacházejí při osvětlování přechodů pro chodce, křižovatek, nebezpečných míst, cyklostezek apod. Příklad svítidel se světelnou diodou pro pouliční osvětlování je znázorněn na *Obrázku 3-74*.



Obr. 3-74 Svítidla se světelnými diodami pro pouliční osvětlení.

A díky možnosti rychlé regulace výkonu, změny výsledné barvy světla vhodným přepínáním jednotlivých čipů, vysoké účinnosti a nízkopotencionálnímu odpadnímu teplu nacházejí diody své uplatnění také pro tématické a vizuální osvětlení. Příklad je uveden na *Obrázku 3-75*.

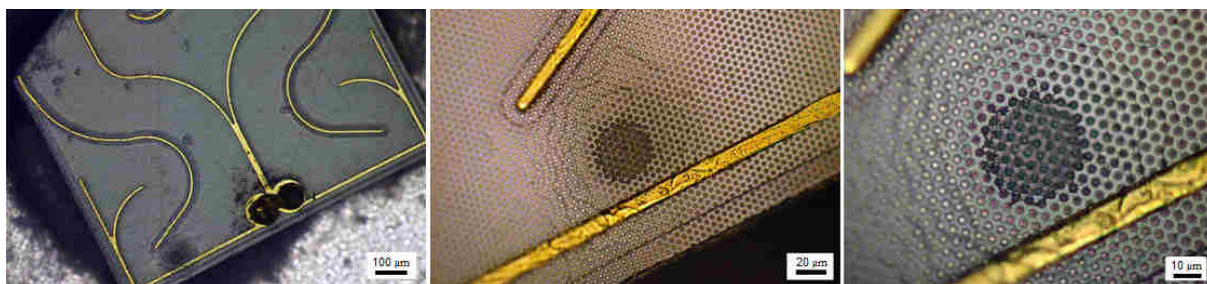


Obr. 3-75 LED tématické a vizuální osvětlení.

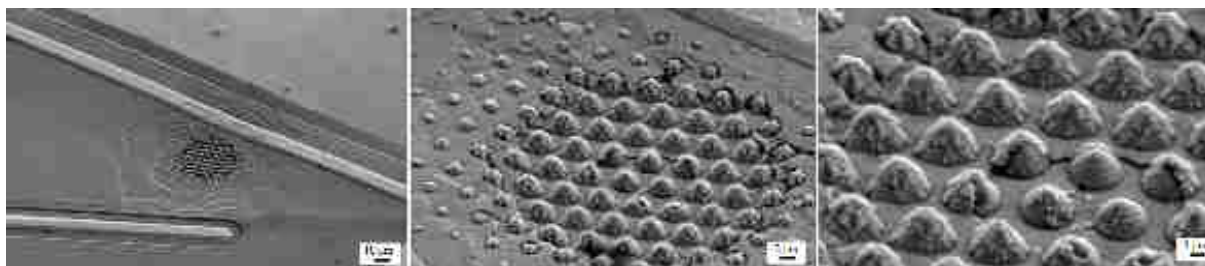
3.4.1.A Konstrukce světelných diod

Z principiálního hlediska se světelné diody nijak zvláště neliší od běžných křemíkových nebo germániových usměrňovacích diod. Ale pro již zmíněnou potřebnou šířku zakázané oblasti v rozsahu cca 1,8 až 3,8 eV je potřeba používat jiné materiály. Základem (základním substrátem) je vždy polovodič typu N, který tvoří katodu a přes který se odvádí ztrátové teplo. Na tento substrát je epitaxní technologií nebo atomovou implementací vytvořena tenká vrstva polovodiče s vodivostí typu P. Ve skutečnosti je struktura dnešních moderních světelných diod daleko složitější a je využíváno velké množství vrstev. Tímto způsobem vzniká oblast přechodu PN, u které se při připojení napětí v propustném směru začínají k sobě přibližovat elektrony z jedné vodivosti a díry (kladné ionty) z vodivosti druhé, zakázaná oblast se tím zužuje. Pokud přiložené napětí překročí napětí v eV pro zakázanou oblast, dojde ke vzniku rekombinace. Tyto rekombinace jsou s jistou pravděpodobností zářivé, to znamená, že energie udělená částicím pro překonání zakázané oblasti je vyzářena ve formě fotonů s danou vlnovou délkou.

Pravděpodobnost vzniku zářivé rekombinace je nejvyšší pro jednu energii, tím vzniká dominantní vlnová délka, nicméně dochází také k rekombinacím s energiemi v okolí tohoto maxima, proto světelná dioda neemituje čistě monochromatické záření. Také jistá část rekombinací proběhne nezářivě v IR oblasti spektra. Detaily provedení konstrukce čipu světelné diody (neznámého čínského výrobce) jsou pomocí optického mikroskopu znázorněny na *Obrázku 3-76*, na *Obrázku 3-77* jsou znázorněny detaily pomocí elektronového mikroskopu [5, 6].

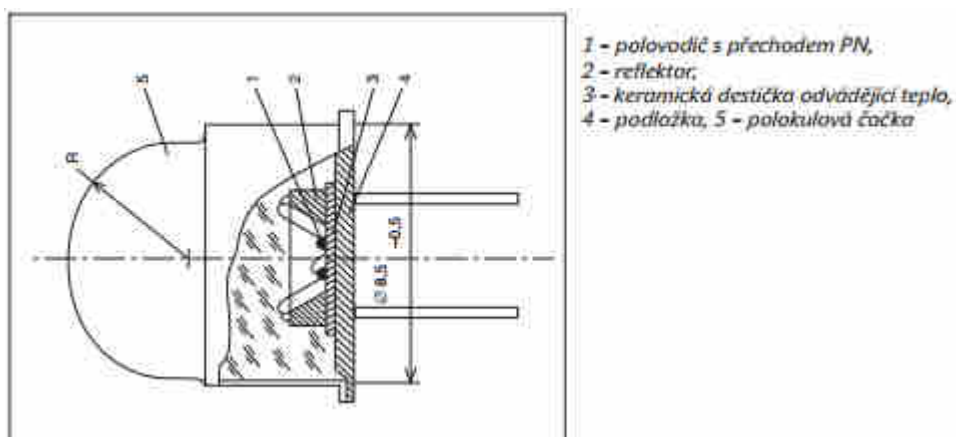


Obr. 3-76 Detaily konstrukce čipu světelné diody zobrazené pomocí optického mikroskopu [68].



Obr. 3-77 Detaily konstrukce čipu sv. diody zobrazené pomocí elektronového mikroskopu [68].

Jelikož světelný tok vychází z celé oblasti přechodu, je nutné světelnou diodu mechanicky uzpůsobit tak, aby byla výsledná distribuce světelného toku do potřebného prostorového úhlu. Jsou tedy kladeny velké nároky na optickou odraznost substrátu, případně materiálu pod ním. Ten je tvarován do potřebného tvaru. A naopak je požadavek na optickou propustnost materiálu polovodiče P, aby mohl světelný tok uniknout z polovodiče ven. Používané materiály jsou v tenkých vrstvách opticky propustné. Distribuce světelného toku určuje také ochranný opticky propustný materiál diody. Ten má za úkol mechanicky chránit samotnou světelnou diodu před vnějšími vlivy a tak je nejčastěji vytvarován do tvaru polokulové čočky. Konstrukce světelné diody je znázorněna na Obrázku 3-78 [5].



Obr. 3-78 Konstrukce světelné diody [69].

Podle charakteru emitovaného záření lze světelné diody rozdělit do čtyř skupin. Světelné diody emitující pouze jednu „barvu“ světla, diody emitující záření v IR oblasti spektra, diody emitující záření v UV oblasti spektra a světelné diody s luminoforem. V následující Tabulce 3-13 jsou uvedeny používané materiály pro výrobu polovodičových substrátů a dominantní vlnové délky, kterou lze s použitými materiály docílit.

Tab. 3-13 Materiály substrátu LED [5].

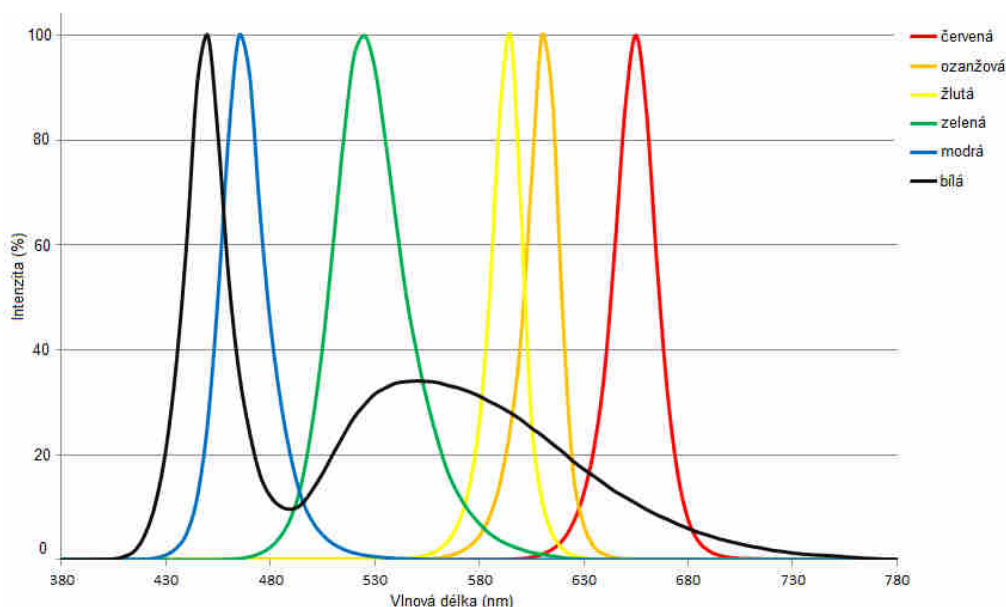
Materiál	Barva	Barva(angl.)	Dom. λ (nm)	Roz. λ (nm)
AlGaAs, Ga,AsP,AlGaInP,GaP	Červená	Red	627	610-760
GaAsP, AlGaInP,GaP	Oranžová	Amber	590	590-610
GaAsP, AlGaInP,GaP	Čer./oranž.	Red/Oranže	617	610-630
GaAsP, AlGaInP,GaP	Žlutá	Yellow	575	570-590
InGaN/GaN,AlGaInP,AlGaP	Zelená	Green	530	500-570
AlGaP,InGaN,GaN	Modrozelená	Kyan	505	480-530
ZnSe,InGaN,SiC	Modrá	Blue	470	450-500
InGaN	Fialová	Royal Blue	455	400-460
AlGaAs,GaAs	IR			>760
AlN,AlGaN,AlGaInN, diamant	UV			<410

Výkonné LED čipy jsou za pomoci pájení, nejčastěji vlnou, uchyceny k DPS. Ta má za úkol mechanicky držet čip diody na svém místě, umožnit dostatečný odvod ztrátového tepla a galvanicky světelnou diodu připojit k napájecímu obvodu. DPS je vyráběna z hliníku nebo mědi s elektricky izolační vrstvou, potiskem pájecích a propojovacích ploch. Luminofor pro výrobu bílých diod byl zprvu používán totožný s třípásmovým pro lineární zářivky. Protože byl ale určen pro buzení tvrdým UV zářením, nedosahoval u modrých světelných diod takové účinnosti. Proto je dnes takřka výhradně používán v provedení ytrio-hlinitého granátu aktivovaného cerem s chemickým složením $Y_3Al_5O_{12}:Ce$, který je speciálně vyvinut právě pro buzení vlnovými délkami modré diody [5].

3.4.1.B Provozní parametry světelných diod

Světelné diody v provedení jednotlivých čipů mohou být v závislosti na materiálu substrátu a výsledné barvě emitovaného světla napájeny stejnosměrným napětím v rozsahu cca 1,8 až 4 V. U starších používaných materiálů substrátu byla výrazně patrná závislost napětí na barvě diody – červené diody měly napájecí napětí 1,8 až 2,0 V, žluté 2,0 až 2,2 V a zelené okolo 2,4 V. Dnes nejčastěji používaný materiál substrátu InGaN potřebuje kvůli své složité struktuře napětí v rozsahu cca 3,4 až 3,9 V, pro UV diody je napětí nad 4 V na jeden čip. Napětí na PN přechodu je do jisté míry u každé diody trochu odlišné při stejných podmínkách. Je závislé na stáří diody a výrazně se mění s teplotou PN přechodu. Z těchto důvodů je značně výhodnější a v praxi jinak nemožné, než napájet světelné diody z proudových zdrojů. Závislost napětí na proudu při různých podmínkách chodu je dobře patrná na křížových charakteristikách [5].

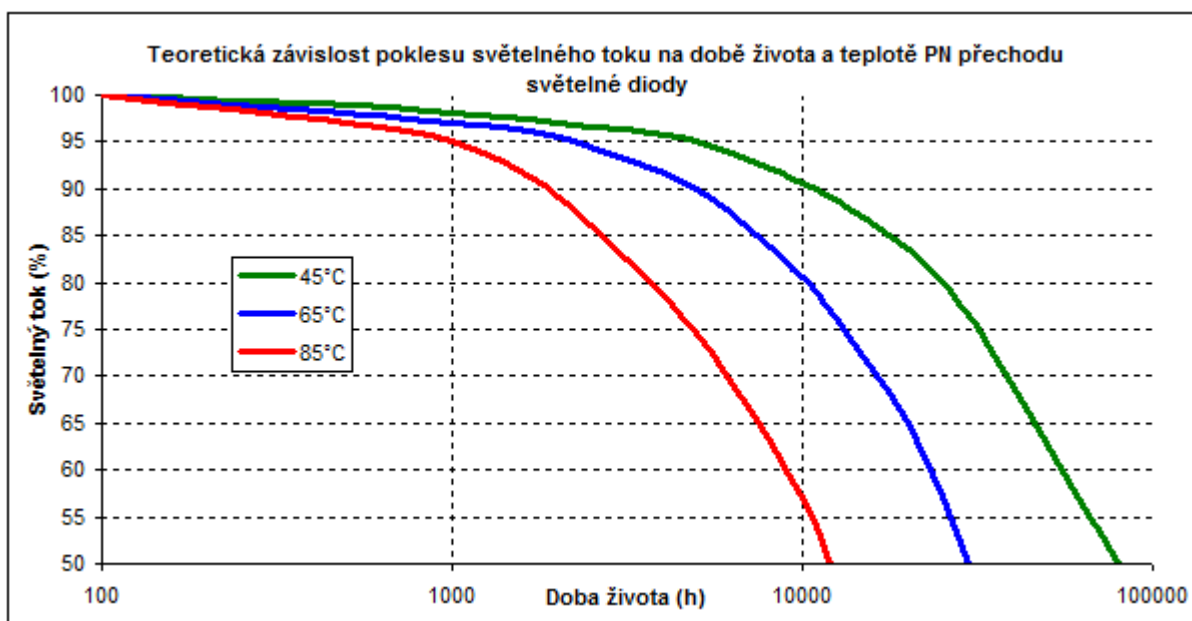
Jmenovitý proud je u signalizačních diod v rozsahu od 1 do 50 mA, pro nízkopříkonové diody je užíváno nejčastěji hodnoty 2 mA. Světelné diody v oblasti osvětlování jsou v jednočipovém provedení vyráběny v několika proudových řadách, přičemž veškeré katalogové údaje jsou udány při této hodnotě napájecího proudu. Jmenovité proudy světelných diod pro osvětlování začínají na hodnotě 100 mA, dále pak je to 120 mA, 150 mA, 350 mA, 700 mA, 1 000 mA, 1 050 mA, 1 400 mA, 1 450 mA, 1 500 mA a 3 000 mA. Pro vyšší proudy než 10 A a vyšší příkony než 10 W se používají vícečipová provedení, jenž využívají sérioparalelní zapojení jednotlivých čipů [5, 6].



Obr. 3-79 Spektrální distribuce světelných diod [70].

Hodnota světelného toku může u jednočipového provedení světelných diod dosahovat až 1 300 lm a nejvyšší hodnota měrného výkonu u dnešních komerčně dostupných světelných diod za pokojové teploty dosahuje hodnoty až $200 \text{ lm}\cdot\text{W}^{-1}$. U ostatních běžně dostupných diod je měrný výkon v rozsahu 80 až $150 \text{ lm}\cdot\text{W}^{-1}$. U světelných zdrojů v podobě ekvivalentů ke konvenčním zdrojům se výsledná hodnota při započtení účinnosti předřadných systémů a opticky aktivních prvků pohybuje v rozmezí 60 až $120 \text{ lm}\cdot\text{W}^{-1}$. Index podání barev u bílých diod je v závislosti na provedení a kvalitě luminoforu v rozsahu 70 až 93, přičemž jsou dostupné speciální světelné diody dosahující hodnot až 96. Spektrální distribuce světelných diod je znázorněna na *Obrázku 3-79*.

Střední doba života indikačních a signalizačních LED, jenž nejsou proudově ani teplotně přetěžovány, se může teoreticky pohybovat v rozsahu 100 000 až 1 000 000 hodin. Výkonné LED mají katalogově udanou střední dobu života maximálně 50 000 hodin s předpokládaným poklesem světelného toku o 30 % oproti počátečnímu stavu. Navíc jsou tyto hodnoty stanoveny za podmínek, kdy během života diody nedojde k překročení max. hodnoty napájecího proudu a max. hodnoty teploty přechodu PN během montáže na DPS ani během provozu samotného zdroje. Život zdroje je zpravidla limitován dobou života předřadného systému a pohybuje se v rozsahu od 10 000 do 50 000 hodin. Jak již zde bylo několikrát zmíněno, život světelné diody a pokles světelného toku velmi závisí na přetěžování diody napájecím proudem a provozu při zvýšené teplotě PN přechodu. Graf uvedený na *Obrázku 3-80* znázorňuje závislost poklesu světelného toku na době života při různých provozních teplotách PN přechodu [6].



Obr. 3-80 Závislost světelného toku na teplotě PN přechodu a době života světelné diod [6].

3.4.1.C Polovodičové laserové diody

Na rozdíl od světelných diod laserové diody produkují světlo (případně záření v IR nebo UV oblasti spektra) s výrazně užší spektrální distribucí, šířka v 50 % intenzity je přibližně 1 nm. Vzniklé záření je koherentní. V polovodičovém materiálu je obdobně jako u jiných laserů dosahováno stimulované emise, přičemž opticky aktivním prostředím je zde samotný PN přechod, do kterého jsou injektovány elektrony a díry. V prostoru PN přechodu dochází obdobně jako u světelné diody k náhodné rekombinaci. Tato náhodnost je ale porušena, pokud již do prostoru vstoupí foton o energii zakázaného pásu ještě před rekombinací ostatních volných děr

(kladných iontů) a elektronů v okolí přechodu. Díky tomuto „prvnímu“ fotonu je odstartována rekombinace i ostatních ionizovaných částic. Tím dojde k vytvoření koherentního záření. K vytvoření koherentního záření dochází pouze od určité prahové hodnoty napájecího proudu diody, a to v okamžiku kdy je již v oblasti přechodu dostatečný počet částic určených k rekombinaci. V závislosti na příkonu a materiálu diody je hodnota tohoto prahového proudu v rozmezí od 40 do 250 mA. Příkon laserových diod se může pohybovat od jednotek mW po desítky W. Při pulzím provozu dosahují například korundové lasery výkonů až 10^{12} W po dobu několika ns. Používané materiály a provozní vlastnosti polovodičových laserových diod jsou uvedeny v následující Tabulce 3-14 [71, 72].

Tab. 3-14 Použité materiály na substrát polovodičové laserové diody [72].

Materiál	Vlnová délka (nm)	Použití
InGaN	405	Blue-ray, HD DVD
InGaN	445	Dataprojektory
DPSSLs Nd laser a YAG krystal	473	Modrá ukazovátka
Zelené laser LED Nichia, Osram	510 až 520	Dataprojektory
DPSS (2x 1064 nm) KTP krystal	532	Zelená ukazovátka
AlGaInP	635	Červená ukazovátka, vyšší účinn.
DPSS	640	Nejjasnější DPSS lasery
GaInP a AlGaInP	650	CD, DVD, červená laser ukaz.
AlGaInP	670	Čtečky kódů, stará laser. ukaz.
DPSS	671	Spektroskopie, zkoumání DNA
AlGaInP	760	Zkoumání O ₂
GaAlAs	785	CD přehrávače
GaAlAs	808	Pumpování G laserů Nd:YAG
	848	Laserové myši
InGaAs	980	Opt. zesilovače, DPSS Yb:YAG
AlGaAs	1 064	DPSS, Optická vlákna
InGaAsP a InGaAsN	1 310	Optická vlákna
InGaAsP	1 480	Optické zesilovače
InGaAsP	1 512	Zkoumání NH ₃
InGaAsP, InGaAsNSb	1 550	Optická vlákna
InGaAsP	1 625	Optická vlákna
InGaAsP	1 654	Zkoumání CH ₄
GaInAsSb	1 877	Zkoumání H ₂ O
GaInAsSb	2 004	Zkoumání CO ₂
GaInAsSb	2 330	Zkoumání CO
GaInAsSb	2 680	Zkoumání CO ₂
GaInAsSb	3 330	Zkoumání CH ₄



Obr. 3-81 Příklad laserových diod [71, 72].

Laserové diody se zpravidla skládají z budící diody a ze samostatné laserové diody. Proto mají také pouzdra diod více vstupních vodičů. Pro výkonné lasery s příkony v řádu stovek mW je

již systém buzení plně integrován na čipu. Příklad realizace laserových diod je uveden na *Obrázku 3-81*.

3.4.2 OLED – Organické světelné diody

Je to světelná dioda s elektroluminiscenční vrstvou zhotovenou z organických materiálů. V současné době nachází uplatnění především v oblasti nejrůznějších displejů, čteček a zobrazovačů. U malých přístrojů nahrazují LCD obrazovky. V porovnání s nimi se jedná o aktivní zobrazovač, tzn. že nepotřebuje zdroj světla na podsvícení. Dosahuje velmi rychlé odezvy a vynikající čitelnosti i na přímém slunci. Velký výběr a dostupnost vhodných organických materiálů umožňuje těmto zdrojům dosáhnout velmi dobrých parametrů. Jednotlivé materiály se zpravidla vakuově napaňují do tenkých vrstev (jednotky nm) mezi anodu a katodu. Tím vzniká velmi tenká struktura podobná papíru. Takto vyrobený displej může být plastický. Výhodou je relativně nízký, neoslňující ale rovnoměrný jas dosahující hodnot 1 000 až 2 000 cd.m^{-2} . Výhodnou jsou také velké pozorovací úhly a absence škodlivých látek ve vnitřní struktuře. Dnes vyráběné OLED zobrazovače mohou dosáhnout až 100 lm.W^{-1} pro bílou barvu a až 160 lm.W^{-1} již bylo dosaženo v laboratorních podmínkách [6].

První OLED byla vyvinuta firmou Kodak již v roce 1987. Mezi přírodní elektrody bylo umístěno několik velmi tenkých vrstev. Kromě vrstev kompenzačních, které kompenzují vliv ostatních vrstev mezi sebou, je využíváno vrstvy vypuzující díry, vrstvy přenášející díry, vrstvy vypuzující elektrony, vrstvy přenášející elektrony a vrstvy vyzařovací. Při připojení napětí na daný segment nebo pixel dojde k vybuzení volných děr a elektronů, které vzájemně rekombinují ve vyzařovací vrstvě s emisí na konkrétní vlnové délce. Pro dosažení více barev a jejich směsí je nutné tyto systémy na sebe vrstvit. V dnešní době jsou využívány systémy aktivní AMOLED (z angl. Active Matrix Organic Light Emitting Diode) a pasivní PMOLED (z angl. Passive Matrix Organic Light Emitting Diode). Pasivní systém napájí jednotlivé pixely displeje nebo segmenty matice pomocí řadičů. Pro rozsvícení každého z nich je zapotřebí proudový impuls potřebných parametrů, což omezuje rychlost zobrazování a také výsledný jas. Tyto displeje je možné použít pouze v malém provedení pro jednoduché grafické displeje. Naopak aktivní displej má u každého pixelu nebo zobrazovaného segmentu tranzistor, při jehož sepnutí se dané místo aktivuje. Tímto způsobem je dosaženo vyšší rychlosti zobrazování, vyšších jasů, kontrastů a kvalita zobrazení je srovnatelná s dnešními LCD displeji. Nevýhodnou je prozatím rychlé stárnutí materiálů, takže životnost se liší podle jednotlivých barev. Degradace modré vrstvy se začíná projevovat již po 1 000 hodinách provozu, zelené po 10 000 a červené po 30 000 h. Život displeje jako zobrazovače je výrobcem stanoven na 14 000 hodin, nicméně v dnešní době jsou již dostupné materiály, které dobu života významně prodlužují. Nejnovější displeje dosahují střední doby života 40 000 hodin a laboratorně jsou zkoumány materiály s technickým životem až 198 000 hodin. Příklady provedení OLED displejů jsou znázorněny na *Obrázku 3-82* [73].



Obr. 3-82 Provedení a aplikace OLED displejů [73].

3.4.3 Elektroluminiscenční panely

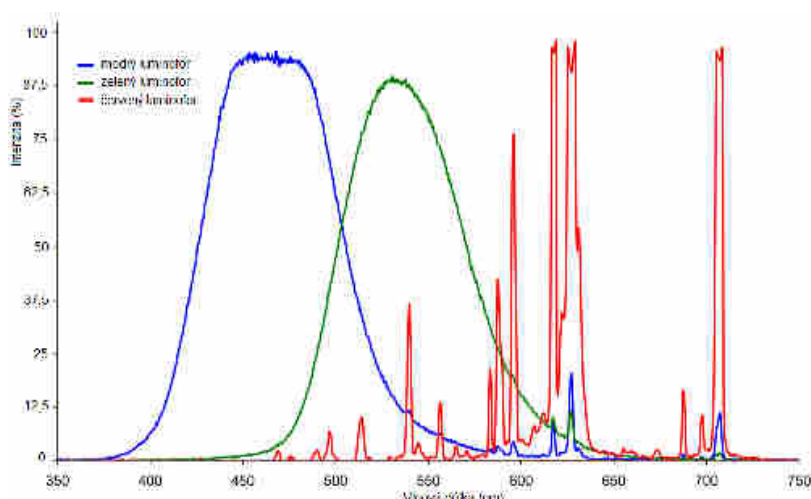
Tyto panely jsou používány pro plošná, většinou reklamní, osvětlení. Nacházejí také uplatnění pro „svítivé“ bezpečnostní pásy nebo trička. Jejich označení je ELD (z angl. Electroluminescent Display). Jsou nejčastěji vytvořeny z velmi tenké vrstvy GaAs mezi dvěma přírodními elektrodami. Po připojení elektrického proudu vzniklé elektrické pole uvnitř polovodičového materiálu způsobuje ionizaci a zároveň zářivé rekombinace. Pomocí různých použitých materiálů může být dosaženo různého výsledného barevného efektu. Jednotlivé pixely nebo segmenty jsou tvořeny křížením průhledných přírodních elektrod z oxidu cínů. V dnešní době je používáno několik technologií, například AMEL (z angl. Active Matrix Electroluminescence), TFEL (z angl. Thin Film Electroluminescence) a TDEL (z angl. Thick Dielectric Electroluminescence). Příklad těchto displejů je uveden na *Obrázku 3-83* [74].



Obr. 3-83 Příklad elektroluminiscenčních panelů [74].

3.4.4 Katodové trubice

Katodové trubice neboli CRT obrazovky (z angl. Cathode Ray Tube) jsou vakuové baňky se stínítkem z luminoforu. Vakuum je za pomoci getrů drženo na vysoké úrovni, vnitřní tlak se pohybuje v rozmezí 100 nPa až 10 mPa. Pomocí nažhavené elektrody – katody je uvolněn oblak elektronů, který se kladným vysokým napětím přivedeným na anodu urychluje a dopadá na stínítko s luminoforem. Pomocí elektrostatických čoček je takto vytvořený paprsek fokusován do malého bodu. U běžných televizních obrazovek a monitorů je využíváno elektromagnetického vychylování paprsku pomocí cívek. U osciloskopických obrazovek se používá frekvenčně nezávislý elektrostatický vychylovací systém, který je ale méně účinný, proto osciloskopické obrazovky jsou dlouhé s poměrně malým stínítkem. U barevných systémů se využívá systém tří trysek (katod) s vlastní optikou a před stínítkem je ještě umístěna štěrbinová mřížka (maska) pro přesné rozdělení jednotlivých bodů (pixelů). Podle masky jsou používány tři systémy – delta, in line a trinitron.



Obr. 3-84 Spektrální distribuce barevných luminoforů v CRT obrazovkách [76].

Urychlovací napětí je používáno od jednotek kV u malých osciloskopických obrazovek až po cca 50 kV u největších televizních obrazovek. Samotný používaný luminofor má velkou setrvačnost, takže zamezuje výraznému kolísání jasu jednotlivých pixelů během vykreslování obrazovky. Pro generování modré a zelené barvy se jako luminofor používá sulfid zinečnatý a pro generování červené barvy je využíváno sulfidů a oxidů yttria dopovaného europiem. Spektrální distribuce jednotlivých luminoforů je znázorněna na *Obrázku 3-84* [75, 76].

V dnešní době je většina obrazovek monitorů a osciloskopů nahrazena LCD panely a v případě televizních obrazovek také plasmou. Ale i tak byla klasická CRT obrazovka používána jako dominantní zobrazovač v čase proměnných jevů více než sto let. Její výhodou bylo dobré podání barev a velké pozorovací úhly. Nevýhod bylo ale více, za zmínku stojí nízká účinnost, velká náročnost na prostor, hmotnost, relativně nízký život v rozsahu 5 000 až 10 000 provozních hodin a emise rentgenového záření. Problematická byla také recyklace, neboť pro obrazovky bylo používáno především olovnaté sklo, dále pro jejich výrobu bylo používáno velké množství kadmia, zinku, mědi hliníku a dalších prvků. I samotný luminofor byl toxický a bylo nutné s ním zacházet jako s toxickým odpadem. Příklad použití a spotřebiče vybavené CRT obrazovkou jsou znázorněny na *Obrázku 3-85* [5, 76].



Obr. 3-85 Spotřebiče vybavené CRT obrazovkou [76].

3.4.5 VFD zobrazovače

Jedná se o speciální aktivní displeje spotřební a měřicí elektroniky. Jsou to vakuové fluorescentní zobrazovače, které obsahují žhavenou katodu, většinou tvořenou tenkým wolframovým drátkem s emisní vrstvou oxidů alkalických kovů. Katoda emituje elektrony, které dopadají na anodu s jednoduchou luminiscenční vrstvou z chemických sloučenin s obsahem fosforu. Vnitřní prostor zobrazovače zaujímá vysoké vakuum s tlakem pod 1 mPa. Napěťový potenciál anody je podle typu displeje v rozsahu 30 až 100 V. Výhodou těchto displejů je profesionální vzhled a aktivní zobrazení znaků bez nutnosti dalšího podsvícení. V dnešní době je dostupné velké množství provedení těchto displejů, které umožňuje zobrazovat jednotlivé znaky, číslice, segmenty. Je také možné zakoupit plně maticové, grafické s integrovanými řadiči vybavené displeje VFD. Příklad realizace těchto zobrazovačů včetně jejich aplikace je uveden na následujícím *Obrázku 3-86* [77].



Obr. 3-86 Zobrazovače VFD [77].

3.5 Shrnutí kapitoly

V předchozích kapitolách je uveden výčet umělých světelných zdrojů, rozdělený do tří základních skupin. Tyto skupiny se vzájemně liší principem přeměny elektrické energie na světlo. Většina zde uvedených světelných zdrojů je primárně používána pro osvětlování. Nicméně malá část je zcela nebo částečně používána za jiným účelem, který je uveden v *Tabulce 3-15*.

Tab. 3-15 Umělé světelné zdroje primárně nepoužívané pro osvětlování.

Světelný zdroj	Použití, popis
Žárovka	Malé žárovky pro indikaci nebo tématické osvětlení.
Halogenová žárovka	Halogenová žárovka díky své nízké účinnosti produkuje převážnou část záření v oblasti IR. Použití ve vytvrzovacích pecích nebo laserových tiskárnách.
Světelná trubice	Reklamní účely nebo tématické osvětlení.
Doutnavka	Využívá se jako napěťový stabilizátor, napěťový indikátor ve zkoušečkách nebo jako levná a spolehlivá indikace zapnutého stavu.
Kompaktní zářivka	V miniaturním provedení s příkonem okolo 1 W jako indikátor, nouzové osvětlení, případně jako „noční světlo – bludička“.
Lineární, kompaktní a indukční zářivka	V germicidním provedení bez luminoforu a baňkou z křemenného skla jako zdroj UVA, UVB a UVC záření, často užíváno v soláriích.
Rtuťová vysokotlaká výbojka	V provedení s hořákem z křemenného skla jako výbojka v „horském sluníčku“ nebo soláriích.
Světelné dioda	Většina světelných diod vyrobených do 90. let 20 století byla používána pro indikaci včetně segmentových zobrazovačů a maticových displejů. Dnešní výkonné LED se mohou použít pro různá tématická osvětlení.
Laserová dioda	Kromě jejich použití v automobilových světlometech nacházejí své uplatnění jako laserové pointery, v mechanikách CD/DVD nebo v průmyslu jako řezné nástroje.
Organické světelné diody	Používané u malých elektronických zařízení jako náhrada LCD obrazovek, čtečky knih a v plastické podobě jako „moderní noviny“
Elektroluminiscenční panely	Používané pro plošná reklamní osvětlení, bezpečnostní pásy nebo trička.
Katodové trubice	Ve starších zobrazovačích CRT. Dnes většinou nahrazeny LCD displeji.
VFD zobrazovače	Stále používané pro indikaci, v segmentových nebo maticových zobrazovačích měřicích přístrojů nebo spotřební elektroniky.

Kromě umělých světelných zdrojů uvedených v *Tabulce 3.15*, které nejsou primárně určeny pro osvětlování, mohou být i běžné světelné zdroje použity za jiným účelem. Příkladem je osvětlování (ozařování) rostlin ve sklenících, růstových nebo fytotronových komorách, případně

živočichů v teráriích. Pro tento účel mohou být použity všechny typy světelných zdrojů, přičemž nejlepších výsledků je možné dosáhnout se světelnými diodami, sirmou výbojkou nebo zářivkami se speciálně upravenou spektrální distribucí.

3.5.1 Historický vývoj a predikce budoucího vývoje

U jednotlivých zástupců světelných zdrojů byly popsány jejich dosahované parametry, konstrukční řešení, ale také i jejich historický vývoj. Historicky nejstarší světelné zdroje, jakými jsou teplotní zdroje a oblouková lampa, jsou v dnešní době používány v omezené míře, případně se legislativně dosahuje omezení nebo zakázání jejich prodeje a použití. Tyto zdroje dosáhly po konstrukční stránce svého maxima a již neexistují ekonomicky výhodné kroky k jejich zdokonalení. Tudíž nelze očekávat jejich další budoucí vývoj.

Opakem jsou zdroje výbojové. Kromě lineárních zářivek staršího provedení T12, vysokotlakých rtuťových a směsových výbojek zažívá tato skupina světelných zdrojů trvalý vývoj. U zářivek zažívají nejprudší rozvoj lineární zářivky v provedení T5, kompaktní zářivky a v poslední době také zářivky bezelektrodové. U vysokotlakých výbojek, jenž jsou primárně používány pro venkovní a pouliční osvětlení, se nejprudšímu rozvoji těší vysokotlaké sodíkové a halogenidové výbojky. Především halogenidové výbojky s keramickými hořáky v kompaktním provedení a nízkým příkonem dělají ve změnách konstrukčního řešení největší pokrok. V této oblasti lze očekávat neustálé, i když pomalé, zvyšování účinnosti a zlepšování světelně-technických parametrů.

Světelným zdrojem s nejprudším rozvojem v dnešní době jsou světelné diody. Každoročně dochází ke zvyšování dosahovaného měrného výkonu, který se momentálně v laboratorních podmínkách u tohoto světelného zdroje blíží k hodnotě $300 \text{ lm}\cdot\text{W}^{-1}$, což je hodnota takřka dvakrát převyšující účinnost ostatních nejučinnějších světelných zdrojů. V praxi užívané světelné diody těchto výsledků prozatím nedosahují. Běžně prodávané bílé diody pro účely osvětlování dosahují hodnot zhruba polovičních, přičemž výsledná účinnost svítidla závisí také na efektivnosti napájecích zdrojů, případně použitých opticky aktivních prvků ve svítidle. Dnes se předpokládá, že se maximální měrný výkon světelných diod pro běžné osvětlování časem ustálí na hodnotě 250 až $300 \text{ lm}\cdot\text{W}^{-1}$.

Se současnou technologií výroby nelze očekávat nějaký významný skok ve vývoji a dosahovaných parametrech u světelných zdrojů. Malou naději na převratné změny dává použití nanotechnologií, případně uhlíku ve složitějším krystalickém uspořádání – grafen. Proto je také nutné s těmito méně pravděpodobnými předpoklady počítat v nových datových formátech pro popis světelných zdrojů a databázových systémech.

4 VHODNÉ ZPŮSOBY PRO POPIS SVĚTELNÝCH ZDROJŮ A SVÍTIDEL

Jednotné datové formáty pro popis světelných zdrojů v podstatě neexistují. Parametry světelných zdrojů jsou zpravidla udávány přímo jednotlivými výrobci v jejich katalozích. Časem se ustálil určitý soubor udávaných elektrických a světelně-technických parametrů, jenž je důležitý pro definici zdroje, a případné další parametry nutné pro návrh příslušného svítidla nebo parametry zvýhodňující konkrétní světelný zdroj před konkurencí.

Datové formáty svítidel mají svoji historii vývoje v počátcích hromadného nasazení výpočetní techniky. Ihned od počátku bylo účelem zavést unifikovaný popis svítidel, tak aby byla usnadněna výměna informací mezi jednotlivými subjekty – měřicími laboratořemi, výrobci, distributory a případnými projektanty, koncovým zákazníkem. Se zaváděním graficky výkonnější výpočetní techniky bylo možné tyto formáty svítidel shromažďovat do elektronických katalogů s přímou prezentací fotometrických dat, například graficky znázorněných křivek svítivosti nebo nejrůznějších závislostí provozních parametrů včetně rozptylů hodnot.

4.1 V současnosti používané formáty

V následujících kapitolách jsou uvedeny dnes nejpoužívanější datové formáty pro popis svítidel. Nejstarším používaným formátem je formát IES, který se v několika svých dalších aktualizacích používá dodnes. Dále následuje formát CIBSE, jenž se těší velké oblibě především ve Velké Británii a ostatních státech Commonwealthu. A uvedeny jsou zde také formáty EULUMDAT a CEN. U všech uvedených formátů jsou popsány jejich vlastnosti a možnosti použití. I když je poslední dobou velká snaha vytvořit univerzální datový formát, jenž vyhoví požadavkům pro nové světelné zdroje a s nimi spojená svítidla. Bohužel prozatím dochází pouze k dílčím aktualizacím již existujících formátů. Tyto změny jsou pouze částečné a nekorespondují se skutečnými potřebami. Tento způsob je vzhledem k rychle se měnícím a neustále se rozšiřujícím potřebným parametrům nevyhovující, navíc každá změna musí být přijímána jako standard a akceptována výrobcem softwaru pro návrh osvětlovacích soustav.

4.1.1 Datový formát IES

IES je první z datových formátů zavedených pro jednotný popis svítidel. Byl vytvořen jako standard již v roce 1986. Označení standardu bylo „IES LM-63-1986: IES Recommended Standard File Format for Electronic Transfer of Photometric Data“. Samotný název IES je zkratkou „Illuminating Engineering Society“. Formát dat se používá do dnešních dob, koncovka používaných textových souborů je „*.IES“. Je podporován jako vstupní formát informací o svítidlech dnešními nejpoužívanějšími programy pro návrh osvětlení – Dialux a Relux, případně dalšími. Vývojově se dlouhou dobu používal ustálený formát z roku 1991 s označením „IES LM-63-1991“ a formát „IES LM-63-1995“ z roku 1995. Datový formát IES prodělal poslední změnu v roce 2005 a dnešní označení standardu je „IES LM-74-05“. Strukturou je to částečně explicitně strukturovaný textový soubor, zapsaný v ASCII. Dělí se na řádky a každý řádek reprezentuje jeden záznam. Maximální délka jednoho řádku je 132 znaků a musí být zakončen znakem konce řádku. Případné delší řádky je nutné rozdělit speciálním znakem. Ke zjednodušení identifikace některých zapsaných dat se používají klíčová slova uzavřená do hranatých závorek. Ostatní data jsou vyjádřena implicitně svojí pozicí. Výhodou formátu je, že není nutné používat všechny

řádky/atributy. V porovnání s následujícím datovým formátem „EULUMDAT“ jsou jednotlivé řádky označeny klíčovými slovy/atributy, takže je možné je vynechat nebo přeskočit [8].

Dále v následující *Tabulce 4-1* je uveden příklad použití datového formátu IES LM-63-1991 s popisem jednotlivých řádků. Počet příslušných řádků v tomto formátu je 16. Na *Obrázku 4-1* je uveden ukázkový vyplněný soubor ve formátu IES LM-63-1991.

Tab. 4-1 Příklad použití datového formátu IES LM-63-1991 [78].

Ř.č.	Popis	Pozn.
1	IESNA91	Datový formát
2	[TEST]	Číslo zkušební sestavy dat
3	[MANUFAC]	Výrobce svítidla
4	TILT=NONE	
5	1	
6	Počáteční jmenovité lumeny použité v testu nebo -1, pokud je použita absolutní fotometrie a hodnoty intenzity nezávisí na různých hodnoceních svítidla.	
7	Faktor násobení pro všechny hodnoty „cd“ v souboru. Díky tomu je možné snadné škálování všech hodnot „cd“ v souboru, pokud hodnoty měřítka pracují v neobvyklých jednotkách	Např. fotometrické hodnoty z katalogu pomocí pravítka v goniometrickém diagramu. Obvykle je faktor násobení 1.
8	Počet vertikálních úhlů ve fotometrickém pásmu.	
9	Počet horizontálních úhlů ve fotometrickém pásmu.	
10	1	
11	Typ jednotky použitý k měření rozměrů otvoru svítidla.	Hodnota 1 zastupuje stopy, hodnota 2 metry.
12	Šířka, délka a výška otvoru svítidla.	Normálně je hodnota 0 0 0.
13	1.0 1.0 0.0	
14	Sada vertikálních úhlů uvedených ve vzestupném pořadí. Pokud distribuce spadá výhradně do dolní hemisféry, musí být první a poslední úhel 0° a 90° .	Jestliže spadá zcela do horní hemisféry, musí být první a druhý úhel 90° a 180° . Jinak musí být 0° a 180° .
15	Sada horizontálních úhlů uvedených ve vzestupném pořadí. První úhel musí být 0° . Poslední úhel určuje stupeň laterální symetrie zobrazený podle distribuce intenzity. Je-li úhel 0° , je distribuce osově souměrná. Je-li úhel 90° , distribuce je symetrická v každém kvadrantu. Pokud je úhel 180° , je distribuce symetrická kolem vertikální roviny. Pokud je úhel větší než 180° a menší nebo roven 360° , distribuce nevykazuje žádné laterální symetrie.	Všechny ostatní hodnoty jsou neplatné.
16	Sada hodnot v „cd“. Nejprve jsou uvedeny všechny hodnoty „cd“ odpovídající prvnímu horizontálnímu úhlu počínaje hodnotou odpovídající nejmenšímu vertikálnímu úhlu a pohybující se nahoru k související vertikální rovině. Pak jsou uvedeny hodnoty „cd“ odpovídající vertikální rovině prostřednictvím druhého horizontálního úhlu a tak dále až k poslednímu horizontálnímu úhlu.	Každý vertikální řez hodnot musí začínat na novém řádku. Dlouhé řádky mohou být porušeny mezi-hodnotami podle potřeby, podle dříve uvedených pokynů.

```

IESNA91
[TEST] Simple demo intensity distribution
[MANUFAC] Lightscape Technologies, Inc.
TILT=NONE
1
-1
1
8
1
1
2
0.0 0.0 0.0
1.0 1.0 0.0
0.0 5.0 10.0 20.0 30.0 45.0 65.0 90.0
0.0
1000.0 1100.0 1300.0 1150.0 930.0 650.0 350.0 0.0

```

Obr. 4-1 Ukázkově vyplněný soubor ve formátu IES LM-63-1991.

Na rozdíl od staršího užívaného formátu IES LM-63-1991 je novější IES LM-63-1995 dělen na 18 řádků a jeho příklad použití je uveden v následující *Tabulce 4-2*.

Tab. 4-2 Příklad použití datového formátu IES LM-63-1995 [8].

Ř.č.	Popis	Pozn.
1	IESNA:LM-63-1995	Datový formát
2	Použití klíčového slova / atributy.	
3	Použití klíčového slova / atributy.	
4	Použití klíčového slova / atributy.	
5	Použití klíčového slova / atributy.	
6	TITL=soubor nebo INCLUDE=soubor nebo NONE.	
7	Geometrie křivek svítivosti.	
8	Symetrie svítidla podle křivek svítivosti.	
9	Úhly.	
10	Multiplikační faktor.	
11	Počet svítidel; udávané lm/svítidlo; počet měření horizontálních a vertikálních úhlů; typ použitých jednotek; délka; šířka a výška svítidla.	
12	Typ předřadníku a jeho vstupní příkon.	
13	Měřené vertikální úhly.	
14	Měřené horizontální úhly.	
15	Hodnoty naměřené svítivosti pro všechny vertikální uhly v prvním horizontálním úhlu svítidla.	
16	Hodnoty naměřené svítivosti pro všechny vertikální uhly ve druhém horizontálním úhlu svítidla.	
17	Hodnoty naměřené svítivosti pro všechny vertikální uhly v dalším horizontálním úhlu svítidla.	
18	Hodnoty naměřené svítivosti pro všechny vertikální uhly v ještě dalším horizontálním úhlu svítidla.	

Při použití formátu popisu svítidla IES LM-63-1995 je možné používat následující atributy – klíčová slova. Jejich seznam a princip použití je uveden v následující *Tabulce 4-3*. A ukázkově vyplněný soubor ve formátu IES LM-63-1995 je uveden na *Obrázku 4-2*.

Tab. 4-3 Používané atributy v datovém formátu IES LM-63-1995 [8].

Pořadí	Název	Použití
1	[TEST]	Laboratorní zprava/protokol a název laboratoře.
2	[MANUFAC]	Výrobce svítidla.
3	[LUMCAT]	Katalogové číslo/typ svítidla.
4	[LUMINAIRE]	Popis svítidla.
5	[LAMPCAT]	Katalogové číslo použitého světelného zdroje.
6	[LAMP]	Popis použitého světelného zdroje.

```

IESNA:LM-63-1995
[TEST]"2008-0301"
[MANUFAC]"BEGHELLI"
[LUMCAT]"81-919"
[LUMINAIRE]"81-919/403/T-350mA"
[LAMP]"LED CREE XRE Q4 / 350mA"
[DATE]"31/1/2008"
[OTHER]EULUMDAT file: 2008-0301.ldt
TILT=NONE
40 96.0 3.840 19 7 1 2 0.93 0.12 0.00
1.0 1 52.0
0.0 5.0 10.0 15.0 20.0 25.0 30.0 35.0 40.0 45.0 50.0 55.0 60.0 65.0 70.0 75.0 80.0 85.0 90.0
0.0 15.0 30.0 45.0 60.0 75.0 90.0
940.1 960.9 1015.6 1083.3 976.6 773.4 541.9 360.4 215.6 136.2 90.9 56.5 38.0 19.8 14.8 9.4 5.5 1.6 0.0
940.1 961.2 984.6 997.9 913.8 709.1 485.4 307.6 188.3 124.2 80.7 55.2 36.7 25.3 14.8 9.9 6.3 1.6 0.0
940.1 950.8 916.1 868.5 762.8 566.1 382.3 228.1 151.3 105.5 72.4 56.8 44.8 31.0 15.6 11.5 5.7 1.6 0.0
940.1 929.4 841.7 727.1 581.3 414.6 271.1 172.9 126.6 91.7 68.5 54.4 48.7 34.1 20.6 12.0 5.2 1.8 0.0
940.1 897.4 753.1 591.7 410.4 263.8 169.5 122.7 94.8 79.4 64.6 58.6 49.5 40.1 28.9 17.4 6.5 2.3 0.0
940.1 876.0 694.3 510.2 319.0 194.3 128.6 95.3 73.7 59.1 52.9 48.4 38.3 32.6 25.5 23.2 13.8 2.9 0.0
940.1 862.5 667.7 481.0 295.1 181.8 122.9 84.9 59.1 54.2 58.3 50.0 38.3 28.6 22.7 15.1 10.7 3.4 0.0

```

Obr. 4-2 Ukázkově vyplněný soubor ve formátu IES LM-63-1995 [8].

Bohužel formát IES ani v nejnovějším formátu (aktualizaci) neuvádí elektrické parametry jako například síťová frekvence, napájecí napětí, případně účinník. Je zde uveden pouze příkon světelného zdroje. Vzhledem k dnešní variabilitě a možné záměně světelných zdrojů tento formát nenabízí možnost uvedení více sad světelných zdrojů pro jedno popisované svítidlo. Umožňuje zapsat implicitní polohu světelného zdroje, resp. svítidla a také umožňuje definovat různé druhy svítících ploch svítidla, jako například obdélník, bod, kruh, koule, válec, elipsa i elipsoid [6].

4.1.2 Datový formát TM14: CIBSE

Nedlouho dobu po vzniku formátu IES se již v roce 1988 objevil další datový formát pro popis svítidel, tentokrát se jednalo o britský počín a jeho rozšíření a současné použití je převážně pouze na území Velké Británie a států Commonwealthu. Jeho oficiální název je „TM14: CIBSE Standard File Format for the Electronic Transfer of Luminaire Photometric Data“, další používaný název je „CIBSE TM-14:1988“. Původně nevznikl pouze pro popis svítidel, ale všeobecně pro popis elektrických spotřebičů se zaměřením na jejich účinnost, EMC a s dělením na jednotlivé výrobce. Koncovka používaných datových souborů je „*.CIB“. Formát je opět podporován jako vstupní soubor informací o svítidle pro program Dialux. V současnosti jsou nabízeny rozsáhlé katalogy svítidel v tomto formátu, nicméně jak již bylo zmíněno, tak formát CIBSE není používán jen pro svítidla [8].

4.1.3 Datový formát EULUMDAT

Asi dnes stále nejpoužívanější formát s podporou většiny programů pro návrh osvětlení, včetně programu Dialux, se nazývá formát EULUMDAT. K jeho založení došlo v roce 1990 v Německu jako jednotného formátu pro popis svítidel pro území Evropy. Oficiální název v němčině zní „EULUMDAT – ein Leuchtendatenformat für den europäischen Beleuchtungsplaner“. Používá se pro popis svítidel pro osvětlení interiérů, exteriérů a pouličního osvětlení. Opět se jedná o

implicitně strukturovaný textový formát, psaný v ASCII, původně určený pro přímou editaci pod MS-DOSem. Původní koncepce měla 30 řádků. Každý uvedený řádek reprezentuje jeden záznam. Pozice řádku explicitně určuje význam dat na řádku uložených. Takže ve výsledku nesmějí chybět ani přebývat žádné řádky. V roce 1998 byla neúspěšná snaha zavést rozšířené pokračování formátu s názvem „EULUMDAT2“. Textové soubory tohoto formátu mají koncovku „*.LDT“. Výhodou je v porovnání s předešlými možnost záznamu více sad světelných zdrojů. Což má význam především v dnešní době, kdy je možné v jednom svítidle použít více druhů světelných zdrojů zároveň.

Tab. 4-4 Příklad použití datového formátu EULUMDAT [79].

Ř.č.	Popis	Max. znaků
1	Popis výrobce, formátu	78
2	Popis symetrie svítidla – Typ1 nebo Typ2	1
3	Symetrie: 0-bez symetrie; 1-symetrie podle vertikální osy; 2-symetrie podle C0-C180; 3-symetrie podle C90-C270; 4-symetrie podle os C0-C180 a C90 a C270	1
4	Počet měřených C-rovin	2
5	Počet stupňů mezi měřenými C-rovinami	2
6	Počet měřených svítivostí v každé C-rovině	2
7	Počet stupňů mezi jednotlivými svítivostmi v každé C-rov.	2
8	Číslo měření / měřeného protokolu	78
9	Název svítidla	78
10	Číslo svítidla	78
11	Název souboru	8
12	Datum, měřil	78
13	Délka, průměr svítidla v mm	4
14	Šířka svítidla v mm (0 – pokud je svítidlo kulaté)	4
15	Výška svítidla v mm	4
16	Délka, průměr světelně aktivní části svítidla v mm	4
17	Šířka světelně aktivní části svítidla v mm (0 – kulaté)	4
18	Výška světelně aktivní části svítidla v mm pro C0	4
19	Výška světelně aktivní části svítidla v mm pro C90	4
20	Výška světelně aktivní části svítidla v mm pro C180	4
21	Výška světelně aktivní části svítidla v mm pro C270	4
22	Udržovací činitel svítidla v %	4
23	Účinnost svítidla v %	4
24	Konverzní faktor pro svítivost v závislosti na měření	6
25	Náklon svítidla během měření	6
26	Počet sad světelných zdrojů N	4
26a	Počet světelných zdrojů	N x 4
26b	Typ světelných zdrojů	N x 24
26c	Celkový světelný tok světelného zdroje v lm	N x 12
26d	Teplota chromatičnosti světelného zdroje	N x 16
26e	Podání barev světelného zdroje	N x 6
26f	Příkon světelného zdroje včetně předřadného systému	N x 8
27	Činitel přímé osvětlenosti DR pro deset místností	10 x 7
28	Úhel mezi jednotlivými rovin C	Počet. rovin x 6
29	Úhel mezi jednotlivými měřenými svítivostmi v rovině C	Počet. st. x 6
30	Svítivost v cd/klm	(Poč. r+1) x poč. st. x 6

Dále má jako první z používaných formátů vymezený prostor pro zapsání činitele přímé osvětlenosti DR , které je možné využít pro rychlý výpočet osvětlenosti. Výpočty jsou určeny pro koeficienty místnosti k (v rozmezí 0,6 až 5) a jsou dány z poměru rozměrů místnosti. Nicméně v EULUMDAT specifikaci není uvedeno, jaké koeficienty místnosti k jsou používány a pro konkrétní místnost se v tabulce nemusí najít přesná hodnota činitele přímé osvětlenosti DR . Poté je nutné tyto hodnoty aproximovat. Tyto koeficienty je nutné znát pro určení konečného počtu svítidel pomocí tokové metody a činitele využití prostoru. Dále lze ve formátu uložit teplotu chromatičnosti zdroje a index barevného podání. Vzhledem k dnešní rozmanitosti svítidel umožňuje tento formát zaznamenat pouze omezené informace o geometrii svítidla. Příkladem je uvedena geometrie kubická a kruhová. Formát předpokládá své použití pouze v kontinentální Evropě, takže neuvádí takřka žádné informace o elektrických parametrech svítidla, jako například napájecí napětí, účinník, kmitočet apod. Lze uvést pouze příkon svítidla ve W. A také neuvádí žádné informace o používaných předřadných systémech, což je při jejich dnešní rozmanitosti velký handicap této koncepce. Světelný tok u světelných zdrojů je katalogově uváděn jako střední hodnota vybraného vzorku při předem stanovených podmínkách. Takže prakticky by bylo lepší, když by bylo možné dosadit světelný tok v rozsahu běžně používaných světelných zdrojů. Nicméně formát umožňuje uložit světelný tok pouze jako jmenovitou katalogovou hodnotu příslušného světelného zdroje, nikoliv tok skutečný. A poslední nevýhodou je nerespektování polohy zdroje, resp. celého svítidla. Většina moderních svítidel kvůli tepelnému managementu má svoji polohu definovanou a svítidla opatřená světelnými zdroji výbojovými mají parametry na poloze velmi závislé. Formát EULUMDAT je tvořen z pevných 30ti řádků. Každý řádek má omezený maximální počet použitých znaků. Navíc některé řádky mohou být děleny. V Tabulce 4-4 je uveden příklad použití formátu EULUMDAT [8, 79].

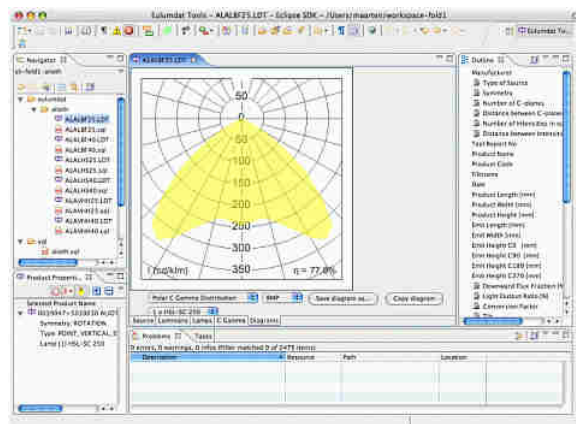
4.1.4 Datový formát CEN

Datový formát CEN je uváděný normou EN 13032-1:2004. Na rozdíl od ostatních uvedených formátů nabízí několik vylepšení, nicméně jeho základ je zastaralý a z našeho současného pohledu obsahuje řadu nedostatků. Je vyjádřen explicitně. Na rozdíl od implicitně vyjádřených formátů, kde informace má své pevné místo, explicitní formáty používají tzv. atributy, pomocí nichž je uvedeno umístění informace. Opět se jedná o jednoduchý textový ASCII formát, takže si zachovává jednoduchou čitelnost a editovatelnost v běžných textových editorech. Z pohledu obsahu odstraňuje některé chyby nejpoužívanějšího EULUMDATu. Například obsahuje informace o předřadných systémech s možností uvedení účinnosti. Dále pak obsahuje informace o elektrických parametrech svítidla/světelného zdroje, například je možné uvést frekvenci sítě, činný a zdánlivý příkon a jmenovité napájecí napětí. Je zde také možné dosti podrobně popsat tvar svítidla a provést až 99 průmětů svítících ploch. Jinak svítící plochu lze také definovat standardními útvary jako jsou například koule, válec, polokoule, poloválec a nebo krychle. Vedle uváděného jmenovitého světelného toku použitých světelných zdrojů je možné uvádět i hodnoty naměřených světelných toků a hodnotu celkového světelného toku. V tomto formátu je možné také zadávat popis umístění jednotlivých světelných zdrojů ve svítidle. Tuto informaci je pak možné použít jako vstupní hodnotu do programů, kde se simuluje změna polohy těchto zdrojů v závislosti na poloze svítidla (náklon svítidla nebo jeho směřování) a tím i změna výsledného světelného toku a křivek svítivosti. Nicméně je zde možné uvádět pouze základní čtyři modifikace, takže nelze přímo zaznamenat změnu světelného toku při jakékoliv změně polohy svítidla. Největší nevýhodou tohoto formátu je nemožnost zavádět více sad světelných zdrojů pro jedno svítidlo. Dnes je tato možnost velmi aktuální a například formát EULUMDAT tento parametr uvádět umožňuje. Dále pak formát neřeší problematiku tepelného managementu,

oteplování jednotlivých částí (světelných zdrojů, předřadných systémů,..) a vliv tohoto oteplení (náběh oteplení, ustálené teploty, závislost ustáleného oteplení na poloze svítidla) na výsledný světelný tok a ostatní světelně-technické parametry svítidla a použitého světelného zdroje. Také do formátu nelze uložit vliv změny napájecího napětí na změnu ostatních elektrických a světelně-technických parametrů. Dalším velkým problémem datového formátu CEN je nemožnost zadání teploty chromatičnosti a indexu barevného podání použitých světelných zdrojů [8].

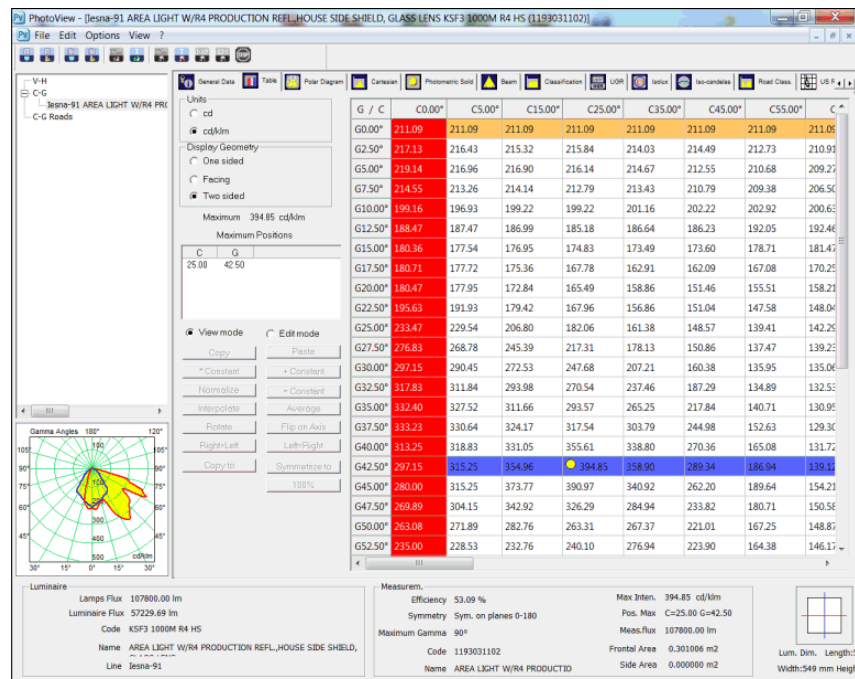
4.1.5 Editory datových formátů

Aby nebylo z pohledu uživatel obtížné editovat datové formáty v textovém režimu, tak jsou dostupná programová řešení určená pro snadnou editaci dat, kopírování dat, ale také rychlé prohlížení křivek svítivosti. Příkladem takového programu je Eulumdat Tools. Ukázka z jeho uživatelského rozhraní je znázorněna na Obrázku 4-3.



Obr. 4-3 Ukázka uživatelského rozhraní programu Eulumdat Tools [80].

Dalším příkladem software určeného pro editaci datových formátů svítidel je PhotoView. Ukázka z jeho rozhraní je znázorněna na Obrázku 4-4. Tento software je možné použít pro vzájemnou konverzi a editaci datových formátů IES a EULUMDAT.



Obr. 4-4 Ukázka uživatelského rozhraní programu PhotoView [81].

4.2 Požadavky na nově vytvořené datové formáty

Požadavky na nově vytvořené datové formáty pro popis světelných zdrojů a svítidel je možné shrnout do třech bodů. Prvním jsou dostatečné možnosti pro výběr potřebných a sledovaných parametrů. Dále pak nadčasovost, která spočívá v předpokladu dalšího vývoje osvětlovacích soustav a sortimentů jednotlivých částí. Takže i uživatelsky snadnou rozšiřitelností tak, aby daný formát byl neustále aktuální. A posledním požadavkem je správně zvolený typ média, formátu souboru, editačního programu, přes který bude moci uživatel jednotlivé datové formáty číst, zpracovávat, vyhodnocovat a editovat.

4.2.1 Parametry datových formátů

Z kapitoly „4.1 V současnosti používané formáty“ je patrné, že zde čtyři uvedené datové formáty pro popis svítidel jsou z dnešního pohledu nedostačující. Možná využitím výhod jednotlivých formátů v jednom universálním by částečně umožnilo jejich použití pro popis moderních svítidel. Soubor katalogově uváděných a pro plnohodnotný popis světelných zdrojů i svítidel potřebných parametrů je uveden v kapitole „2 Parametry světelných zdrojů a svítidel“. Samozřejmě, že ne všechny parametry jsou pro návrh osvětlovacích soustav nutné, nicméně jejich větší množství není na škodu a také ty, na první pohled nevýznamné, mohou být rozhodujícím faktorem při vzájemném porovnávání a výběru s ohledem na ekonomickou a ekologickou stránku hodnocení.

4.2.2 Nadčasovost

Parametr nadčasovost je vzhledem k možnostem pouze zdánlivého odhadu budoucího vývoje osvětlovacích soustav a nových zdokonalených světelných zdrojů velmi těžké určit. Nicméně pokud v brzké době nedojde k nějaké převratné revoluci v této oblasti, což je málo pravděpodobné, je možné vytvořit základní kostru datových formátů, která budou podle potřeb a budoucích nároků uživatelsky snadno rozšiřitelná, samozřejmě se zachováním plnohodnotné kompatibility k předchozím formátům. Například každý nově uváděný parametr by sebou nesl vlastní identifikátor, příznak, například ID číslo, nebo písmenně-číselné označení, které by ve všech dalších možných formátech a aktualizacích bylo vyhrazeno tomuto parametru. Tím by bylo možné uživatelsky zadávat parametry bez nutnosti dodržovat původní pořadí a pomocí doprovodných příznaků vytvářet další podrobnější větvení.

Přiřazování těchto identifikátorů by například mohlo vypadat následujícím způsobem. Hlavní skupina parametrů má označení velkým písmenem. Například světelně-technické parametry „A“, elektrické parametry „B“, dynamické provozní parametry „C“, ostatní parametry „D“, apod. Další dělení by již bylo číselného formátu. Tak například světelný tok by nesl označení „1“, jas „2“, atd. Následující užší dělení je již pro upřesnění daného parametru, především z důvodů jeho použití při vzájemném porovnání nebo způsobu jeho získání. Pro toto další dělení je opět užito číselného popisu. Například u parametru „světelný tok“ by parametrem užšího dělení mohl být jmenovitý světelný tok „1“, světelný tok po 100 hodinách provozu „2“, světelný tok po uplynutí 40 % života světelného zdroje „3“, atd. Pokud je u jednoho svítidla použito více sad světelných zdrojů, poté by uvedený parametr každé sady mohl být zakončen malým písmenem. Mezi jednotlivými znaky je pro udělení jednoznačného významu užíváno oddělovací tečky. Ve výsledku například parametr „Světelný tok po 100 hodinách provozu světelného zdroje u třetí sady světelných zdrojů“ bude mít označení identifikátorem „A.1.2.c“.

Přiřazování identifikátorů podle předchozího odstavce má výhodu v kompaktnosti a snadné uživatelské rozšiřitelnosti. Nicméně nevýhodou je velmi nízká přehlednost a bez slovníku se

běžný uživatel nedokáže zorientovat. Dnešní moderní datový formát musí být snadno čitelný a srozumitelný i pro amatéry, případně pro experty bez předchozího studia struktury formátu. Data musejí být vyjádřena explicitně a identifikována pomocí pochopitelných tagů. Příkladem může být jazyk HTML, ve kterém jsou jednotlivé tagy uvedeny v lomených závorkách <body> a svým názvem přímo vyjadřují funkci nebo účel použití. Z dnes používaných datových formátů tyto přímo snadno čitelné tagy používá například datový formát CEN. Při aplikaci na předchozí ukázkou může být světelný tok označen za pomocí tagu <luminous_flux>, jmenovitý světelný tok <luminous_flux.nominal>, světelný tok po 100 hodinách provozu světelného zdroje <luminous_flux.100h_life_time> a světelný tok po uplynutí 40 % života světelného zdroje <luminous_flux.40%_life_time>.

4.2.3 Výběr vhodného datového média

Většina dnes používaných datových formátů využívá jednoduchý textový zápis buď s každým řádkem implicitně zadaným pro každou hodnoty nebo s uváděnou hodnotou je také uveden potřebný identifikátor. Výhodou těchto formátů je snadná uživatelská modifikovatelnost v každém textovém editoru například v Poznámkovém bloku. Úprava a vkládání nových údajů může být jednoduchým způsobem zautomatizována. Nevýhodou je naopak nutnost znalosti struktury a významu jednotlivých řádků datového záznamu.

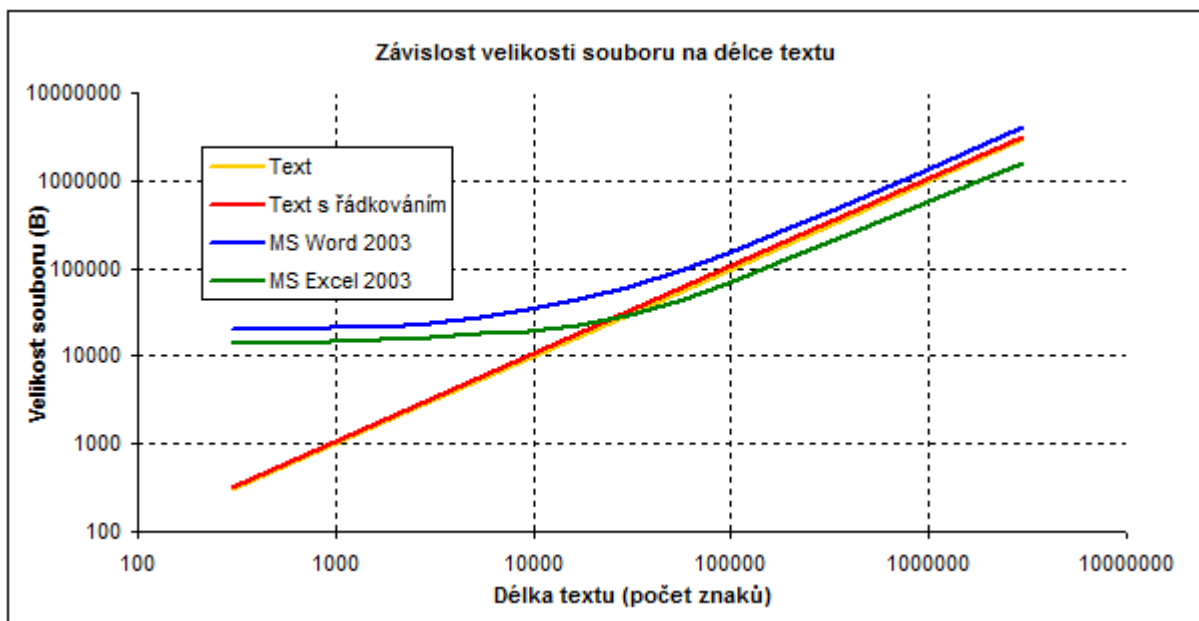
Otázkou pak je, zda-li pro rozsáhlejší záznam je stále vhodné použít jednoduchý textový zápis nebo zvolit jiný z běžně dostupných programů. Tento problém nastane například tehdy, pokud ke zvolenému svítidlu bude možné použít více sad světelných zdrojů. Nebo jestli se větší počet datových záznamů bude využívat jako vstupní informace pro bázi znalostí databázových a expertních systémů. V těchto případech je daleko efektivnější použít jeden soubor pro více záznamů.

4.2.3.A Efektivnost uloženého záznamu

Efektivnost uloženého záznamu je dána především v objemu dat obsazeného tímto záznamem. Je-li datový záznam uveden pro každé svítidlo nebo světelný zdroj zvlášť, vychází z pohledu obsazeného prostoru na nosném médiu nejvýhodněji obyčejný textový soubor. Bude-li v jednom souboru uloženo záznamů více, je z důvodů přehlednosti, ale i z pohledu obsazeného prostoru vhodné využít například některý tabulkový formát. Význam obsazeného prostoru na datovém médiu v dnešní době „takřka neomezených kapacit“ nehraje tak významnou roli, nicméně při velkém objemu dat je třeba neustále nutně počítat s rychlostí načítání nebo také přenosovou rychlostí dat při sdílení a aktualizacích. Kromě čistě číselných nebo textových údajů je možné do datových formátů ukládat také různé provozní charakteristiky vyjádřené za pomoci tabulek nebo grafů. Dále pak fotografie, videa, audio soubory nebo výkresové dokumentace, případně další multimediální formáty. Pokud se opět omezíme na čistě textové a číselné hodnoty, je možné jich ukládat v již zmíněných jednoduchých textových formátech, které je možné jednoduše editovat. Nicméně pro obsáhlejší záznamy, které by se již staly uživatelsky nepřehlednými, se nabízí použití dnes všeobecně rozšířených vyšších editačních programů. Vhodným se jeví textový editor Word nebo tabulkový editor Excel od výrobce Microsoft. Alternativou může být WordPerfect nebo Quattro Pro ze sady WordPerfect Office, případně volně šířitelný OpenOffice. Pro naprostou univerzálnost je možné použít formát souboru CSV (z angl. Comma-separated Values), který je jednoduchým univerzálním formátem pro ukládání tabulkových dat. Je specifický použitím čárky nebo středníku pro oddělení jednotlivých položek. Díky snadné i obrácené konverzi mezi běžnými tabulkovými editory je pro tento účel nejvhodnější, i když z pohledu

možností, univerzálnosti a moderního řešení je taktéž možné použít formát souborů XML (z angl. Extensible Markup Language) [82, 83].

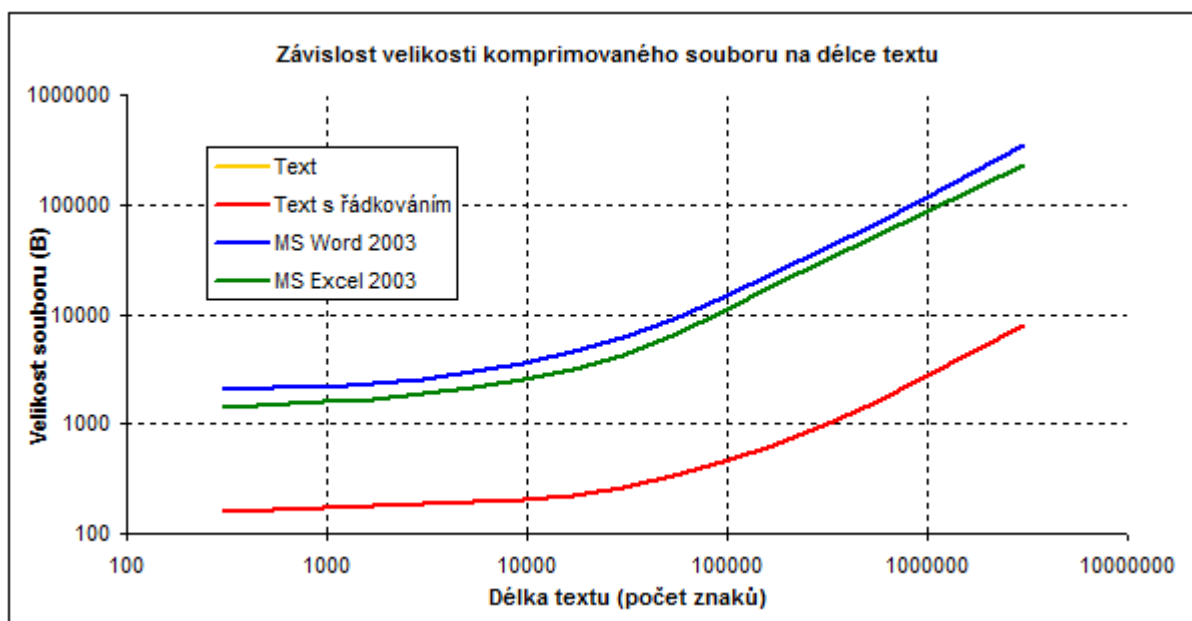
Při hledání optimálního řešení výběru vhodného datového média je nutné znát přibližný objem dat pro jeden záznam a kompletní popis světelného zdroje nebo svítidla. Jelikož každý datový formát souborů používaných editorů, kromě čistě textového souboru psaného v ASCII kódu, vždy obsahuje hlavičku, v níž je popsáno použité formátování, styly, verze programu a další identifikační údaje, je tedy nutné počítat i s jistým obsazeným prostorem tímto ještě prázdným dokumentem. Příkladem je obsazených 24 064 Bajtů u „prázdných“ dokumentů Microsoft Word 2003 a 13 824 Bajtů u „prázdných“ dokumentů vytvořených v tabulkovém editoru Microsoft Excel 2003. Závislost velikosti vytvořeného souboru na délce datového záznamu v těchto souborech je uvedena na následujícím *Obrázku 4-5*.



Obr. 4-5 Závislost velikosti souboru na délce datového záznamu.

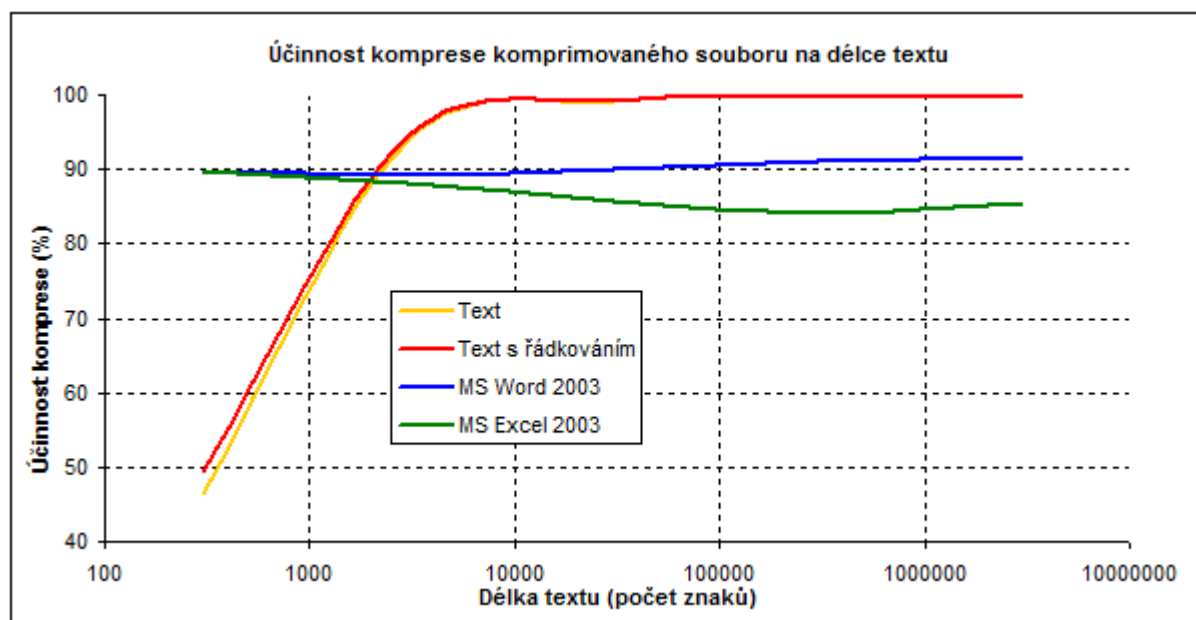
Pro objektivnost bylo použito znakového řetězce „Ab0De1Gh2Jk3Mn4Pq5St6Vw7Yz8_9#“ o 30ti znacích, který přibližně reprezentuje charakter zadávaných hodnot. Na grafické závislosti *Obrázku 4-5* je patrný lineární průběh velikosti vzniklého souboru na délce znakového řetězce u obyčejného textu souboru TXT. Při použití řádkování jsou pro každý řádek použity další dva znaky a daný 30ti znakový řetězec leží na každém řádku zvlášť. Především kvůli již zmíněné hlavičce datových souborů u programů MS Word a MS Excel je výsledná velikost výrazně vyšší i při nízkých hodnotách zapsaných dat. Jelikož tabulkový editor MS Excel nemá tak obsáhlou hlavičku při porovnání s programem MS Word a využívá pro ukládání záznamů interní kompresi, je pozorovatelný menší obsazený prostor. Dokonce při hodnotě nad 20 kB uložených dat je díky vnitřní kompresi výsledná hodnota výrazně nižší i oproti obyčejnému textu. Tudíž i z tohoto pohledu se jeví použití tabulkových editorů s následnou konverzí do formátu CSV jako výhodné.

Pro další snižování obsazeného prostoru je možné použít některou z běžně dostupných souborových kompresí, například souborového formátu ZIP. Výsledné velikosti jednotlivých souborových formátů při použití komprese ZIP jsou znázorněna na *Obrázku 4-6*.



Obr. 4-6 Závislost velikosti komprimovaných souborů na délce datového záznamu.

Algoritmus komprese využívá vyhledávání opakujících se úseků (řetězců) v datových souborech. Proto také je v případě těchto souborů natolik účinná. Samotná účinnost komprese je graficky znázorněna na Obrázku 4-7. Pro datové soubory s jednoduchým textem je právě díky neustále se opakujícímu řetězci od velikosti souboru nad 10 kB takřka 100%. U datových souborů programu MS Word dosahuje hodnot okolo 90 % a souborů programu MS Excel je hodnota o trochu nižší právě kvůli již použité interní kompresi dat samotným programem.



Obr. 4-7 Účinnost komprese komprimovaných souborů.

4.3 Záznam dat v prostředí Microsoft Excel

Na Obrázku 4-8 je uveden příklad datového záznamu parametrů jednotlivých světelných zdrojů v grafickém rozhraní programu Microsoft Excel 2003.

může vcházet velké množství a není reálně možné je všechny zahrnout, nezbyvá než výslednou hodnotu vyjádřit i s určitou nejistotou.

Kromě tištěných nebo elektronických katalogových údajů svítidel a světelných zdrojů se můžeme často setkat s online přístupnými databázemi výrobců, nejčastěji na jejich domovských stránkách. Zde je uživatelsky přístupný pouze grafický nebo textový výstup v tabulce. O vnitřní provázanosti dat a datech surových se nelze nic dozvědět, proto je velmi obtížné z těchto systémů data získávat v ucelené podobě.

Nejhorší variantou jsou data ručně psaná, nejčastěji se jedná o data historická nebo data z laboratorních měření. V těchto případech nezbyvá nic jiného, než data ručně konvertovat do námi připravené šablony.

Z těchto důvodů musí být vytvořený databázový systém otevřený, jeho struktura snadno modifikovatelná s možností ručního zadávání dat nebo automatického zadávání přes namíru vytvořených datových konvertorů. Ideálním řešením je vstřícnost samotného výrobce, či poskytovatele firemních dat, který je nabídne v „surovém formátu“.

Databázový systém může být vybaven rozšířeným vyhledáváním, pomocí kterého dochází k selekci vybraných parametrů v daném rozsahu podle požadavků uživatele. Výsledkem jsou pak textová, tabulková či grafická porovnání vybraných parametrů na základě kterých je možné uživatelsky provést výběr. Pokud úkon výběru a zhodnocení výsledku přenecháme programu, opět podle uživatelsky stanovených podmínek, tak se tento systém nazývá expertním. Je to tedy rozšířená databáze, kde se pomocí získaných (naučených) vazeb provede výběr, zpravidla se hledá neoptimalnější řešení, které je ovšem závislé na kvalitě rozhodnutí systému a na obsahu datové části databáze – v expertních systémech nazývané báze znalostí.

4.4.1 Databáze a databázové systémy

Databázové systémy všeobecně trpí některými svými specifickými vlastnostmi, které je dobré před tvorbou těchto systémů znát, vyvarovat se jim nebo se je naučit eliminovat. Zpravidla jedna hlavní databáze vychází z několika již vytvořených databází, nebo míst s koncentrovanými a uspořádanými daty. V našem případě to jsou převážně katalogy výrobců svítidel a světelných zdrojů. Ze vzájemného pohledu jsou tato data neseskupená, nejednotná, nekompatibilní a často si navzájem odporující. Při pohledu na ně jako na informace můžeme nalézt následující problémy:

Redundance dat – tzv. nadbytečnost dat, kdy opakující se informace na více místech zabírají prostor datových úložišť.

Nekonzistentnost dat – ne na všech dostupných místech jsou data právě aktuální, díky rychlému rozvoji dané tematiky je nutné brát jako akutní pouze nejnovější data.

Nekompatibilita dat – jeden z největších problémů. Data je možné uchovávat v nejrůznějších formátech, od textových přes grafické po audiovizuální, mohou být také opatřena nejrůznějšími kódováním nebo šifrováním.

Izolovanost dat – data se nacházejí v širokém spektru datových úložišť, bez vzájemného propojení a vazeb.

Data je také nutné chránit před zneužitím nebo cíleným poškozením. Výše uvedené problémy a nedostatky není možné žádným jednoduchým způsobem odstranit. Vše tedy vede k jedinému řešení a to k vytvoření jednotného systému s online sběrem dat, který by měl mít vlastnosti shrnuté do následujících bodů.

Přístup k datům by byl možný pouze prostřednictvím příslušného programu databázového systému, tím se zaručí ochrana dat před zneužitím a cíleným poškozováním.

Data by měla být přístupná většímu množství uživatelů současně.

Oddělení datových souborů od programu. Jen tak je možné vzniklou databázi udržovat stále aktuální a současně provádět i aktualizace obslužného programu (grafického uživatelského rozhraní).

Možnost vyhodnocení dat jakýmkoli dostupným způsobem [1, 2].

4.4.2 Expertní systémy všeobecně

Expertní systém na základě rozhodujících činností a znalostní databáze simuluje rozhodující činnost experta při řešení složitých úloh. K tomu využívá dalších vhodně zakódovaných znalostí, které byly od experta převzaty, s cílem dosáhnout kvality rozhodování na úrovni experta, nebo-li uživatele se znalostmi a oprávněním k činnosti rozhodnutí. Jinými slovy je to rozšířený databázový systém, který samozřejmě umožňuje do databáze vkládat, vyhledávat a zpracovávat nalezená data, ale také vysvětlovat a nabízet optimální způsob řešení zadaného problému. Je jistým způsobem aplikací umělé inteligence, kterou pomocí vazeb přijímá od svého tvůrce – experta programátora [3].

Expertní systémy jsou zvláštními druhy znalostních systémů, které navíc mohou využívat expertních znalostí a mohou být vybaveny vysvětlovacím mechanismem. Takový systém se zpravidla skládá z následujících složek, které jsou zařazeny do několika vrstev, navzájem propojeny pomocí vazeb.

Báze znalostí – obsahuje znalosti z určité oblasti (domény) a také své specifické znalosti o řešení problémů v této oblasti. Tyto znalosti mohou být různého charakteru, může jimi být i matematická logika, pravidla, rozhodující stromy, schématické sítě apod.

Inferenční mechanismus – tento mechanismus obsahuje jisté postupy, pomocí nichž je systém schopný řešit problémy na základě zadaného dotazu, při řešení využívá znalostí z báze znalostí. Obsahuje také pravidla pro odvozování nových poznatků z již existujících znalostí. K tomuto účelu používá dedukci, indukci, obdukcii. Případně pravidla zadaná expertem, která jsou založená na jeho praktických zkušenostech. Je v něm také implementovaná strategie pro účinné prohledávání báze znalosti.

Komunikační I/O rozhraní – zprostředkovává výměnu informací mezi systémem a uživatelem, může zde být zavedena i vazba na jiné systémy.

Vysvětlovací modul.

Modul pro akvizici znalostí – modul pro získávání znalostí od experta [3, 4].

4.4.3 Použití expertních systémů ve světelné technice

Expertní systém pro účely světelné techniky je vhodný především jako náhrada experta a jeho znalostí při potřebě rozhodnutí nebo nalezení optimálního řešení složitého problému. Případně může sloužit jako rychlý třídící a vyhledávací nástroj v rozsáhlých a vzájemně provázaných bázích znalostí. Nicméně ve světelné technice je možné převážně použít expertní systémy tzv. 1. generace, které mají jednoduchý způsob reprezentace znalostí a schopnosti vysvětlování. Vzájemné vazby a rozhodování přebírají pouze od experta – programátora. Naopak pro řešení značně složitých problémů se používají expertní systémy tzv. 2. generace, jenž využívají

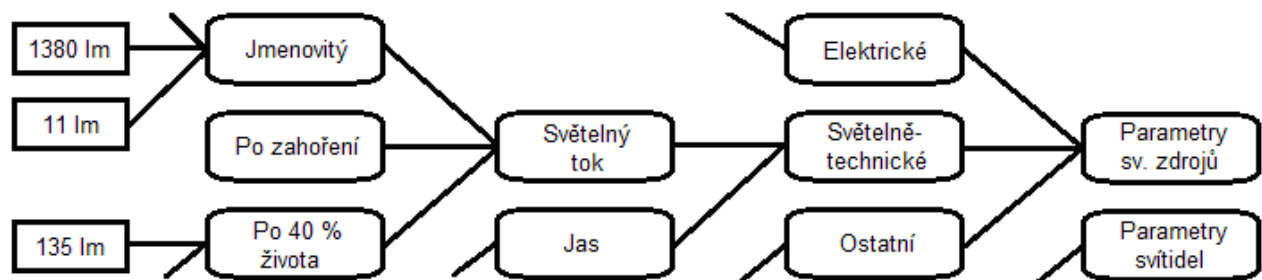
víceúrovňové báze znalostí a mají vylepšen vysvětlovací modul. Znalosti mohou také získávat pomocí automatických prostředků. V této kategorii expertních systémů se objevují také tzv. hybridní systémy, u nichž se klasické expertní systémy kombinují s dalšími přístupy, jako například neuronové sítě nebo evoluční metody [1].

Expertní systémy je možné chápat jako zvláštní typy znalostních systémů, rozdíl je především v použití specifických expertních znalostí nebo přítomnosti vysvětlovacího modulu. Značnou část databázových systémů ve světelné technice s možností expertního zpracování dotazů je tedy možné chápat jako všeobecnější znalostní systémy, ve kterých je na základě jednoduchých rozhodovacích pravidel, případně selektivně definovaných parametrů nalezeno optimálně řešení uživatelsky zadaných problémů. Proto je ve vytvořených databázových systémech pro světelnou techniku použita pouze báze znalostí, vybavená jednoduchými rozhodovacími pravidly a vysvětlovacím modulem s uživatelským grafickým rozhraním. Modul pro akvizici znalostí je řešen samostatně prozatím s možností manuálního vkládání. Typově lze expertní systém pro světelnou techniku zařadit do „problémově orientovaných ES“ a z části i do „plánovacích ES“ [1].

Při řešení konkrétního problému jsou data (znalosti) z báze znalostí přesouvána do báze faktů, která je v případě výpočetní techniky reprezentována operační pamětí. Jednotlivé znalosti jsou nejčastěji reprezentovány objekty. V případě potřeby je možné použít také matematickou logiku, pravidla a v případě složitějšího vyjádření znalostí také sémantické sítě. Podrobnější popis prostředků pro reprezentování znalostí je uveden v následujících kapitolách.

4.4.3.A Reprezentace znalostí – objekty

Objekty v databázových a expertních systémech reprezentují základní data, v případě světelné techniky například jednotlivé parametry světelných zdrojů. Případně to mohou být i celé skupiny parametrů. Ilustrační příklad je uveden na *Obrázku 4-9*.



Obr. 4-9 Znalosti reprezentované formou objektů.

V databázovém systému je každý parametr, skupina parametrů, ale i jednotlivá hodnota brána jako jeden objekt. Jsou-li znalosti uloženy například v Excelu nebo ve formátu CSV, je objektem míněna celá buňka včetně nastaveného formátu dat. A jsou-li data uložena v textové podobě, je každým objektem předem definovaný řetězec znaků nebo jeden řádek.

4.4.3.B Reprezentace znalostí – matematická logika a matematické operace

Matematická logika v databázovém systému pro světelnou techniku pracuje s jednotlivými objekty, nejčastěji číselně zadanými. Hlavním úkolem je kontrola nebo případná korekce znalostí získaných v modulu akvizice znalostí, nebo jako kontrola výstupních hodnot. Zde používaná pravidla jsou vcelku jednoduchá, nejčastěji se jedná o kontrolu správného znaménka, kdy například parametr „elektrický odpor“ nebo „světelný tok“ nesmí být záporným číslem. Nebo zda-li parametr nepřekračuje určité a předem stanovené meze.

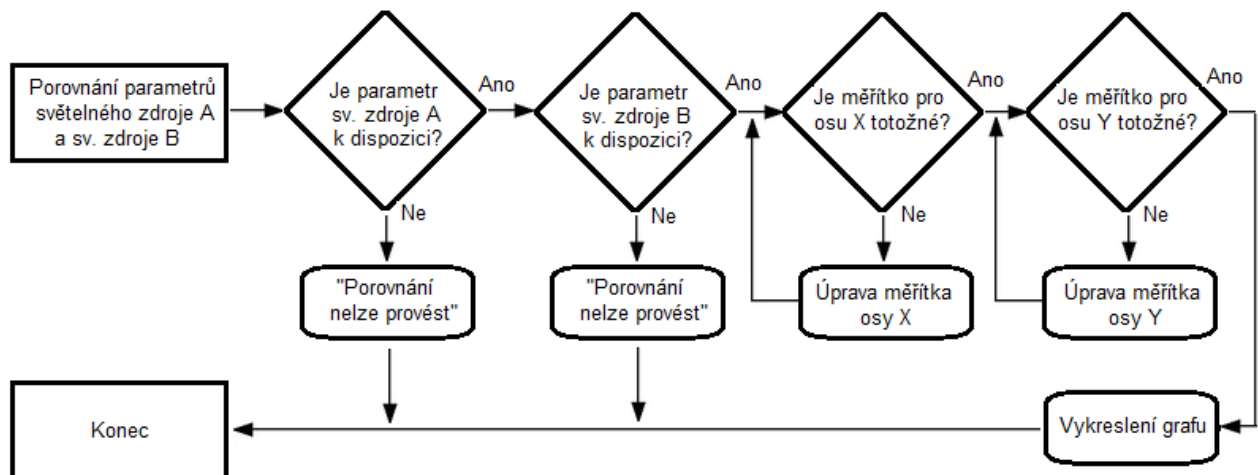
Matematické logiky je taktéž užíváno pro určení priority při výběru z většího množství znalostí, jenž náleží do jedné skupiny. Tato vzniklá neurčitost by bez použité logiky mohla zapříčinit pád systému nebo nesprávný výsledek. Databázový a expertní systém si v řadě jednoduchých případů vystačí se základními logickými operacemi, jako například negace, konjunkce nebo disjunkce. V případě složitějších problémů je možné využít prostředků pro zpracování neurčitosti. Příkladem jsou Bayesovské sítě, fuzzy logika nebo Dempster-Shaferova teorie.

Všeobecně lze říci, že se matematická logika zabývá zkoumáním formálních dedukcí, jenž vedou k formálnímu důkazu. Případně zkoumání nějakého tvrzení. Toho lze využít při autokontrolních mechanismech výstupu z expertního systému.

Daleko více, v porovnání s matematickou logikou, jsou v databázových systémech používány jednoduché matematické operace. Dostupnými katalogovými údaji o světelných zdrojích a svítidlech nejsou vždy potřebné a navzájem porovnatelné parametry. V těchto případech lze právě použít jednoduché matematické operace, jako sčítání, odečítání, násobení nebo dělení, a tím tyto parametry vyjádřit početně. Příkladem je velmi často neuváděná hodnota měrného výkonu světelných zdrojů, kterou ale lze snadno získat z příkonu a produkovaného světelného toku zdroje. Jiným příkladem může být interpolace světelného toku nebo měrného výkonu u světelných diod při konkrétní hodnotě zadaného napájecího proudu.

4.4.3.C Reprezentace znalostí – pravidla a logika rozhodování

Pravidla úzce souvisí s matematickou logikou a charakterem nebo formátem použitých objektů. V bázi znalostí jsou pravidla použita pro dodržení potřebných formátů zadávaných objektů. V samotném systému je pravidel užíváno pro selektivní výběr parametrů a nejrůznější grafické prezentace výsledků. Příkladem mohou být grafická znázornění vzájemného porovnání parametrů, tvorbě závislostí nebo relací. Zadaná pravidla je možné ilustrativně znázornit pomocí vývojových diagramů nebo nejrůznějších algoritmů. Příklad je uveden na *Obrázku 4-10*. Zpravidla je užíváno podmínek typu ano/ne nebo podmíněných cyklů.

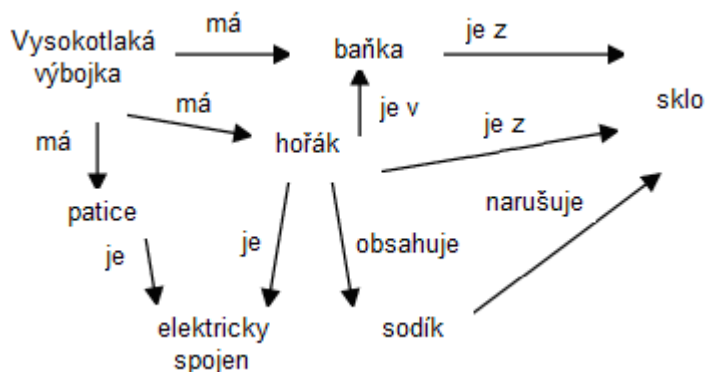


Obr. 4-10 Znalosti reprezentované formou vývojových diagramů.

4.4.3.D Reprezentace znalostí – sémantické sítě

Sémantické sítě jsou užívány jako prostředek pro vyjádření určitých vztahů (relací) mezi jednotlivými objekty (daty) v databázovém nebo expertním systému. Jednotlivé vztahy – vazby je

možné chápat jako základní znalosti pro předávání expertních znalostí systému. Příklad je uveden na *Obrázku 4-11*.



Obr. 4-11 Znalosti reprezentované formou sémantické sítě.

Pomocí vazeb je možné k sobě přiřadit objekty na stejné úrovni, případně objekt přiřadit do určité nadřazené skupiny objektů. Dále pak lze vyjádřit hierarchii tříd nebo vyjádřit, že je objekt tvořen jednotlivými částmi. Pro účely databázového systému pro světelnou techniku lze sémantické síť použít jako nástroj pro vysvětlovací modul. Pomocí vazeb mezi jednotlivými slovy je umožněno, aby expertní systém na svém výstupu podával informaci v celých, uživatelsky snadno pochopitelných větách. Bohužel toto řešení je značně náročné na prostředky, strávený čas a programátorské znalosti experta, proto u většiny databázových a expertních systémů je postačující grafický nebo číselný výsledek.

5 DATABÁZOVÉ SYSTÉMY S MOŽNOSTÍ EXPERTNÍHO ZPRACOVÁNÍ DOTAZŮ

Aby bylo možné data o světelných zdrojích a svítidlech sjednotit, vzájemně porovnat, vyhledávat vazby a staticky vyhodnocovat, případně přímo pokládat dotazy a hledat optimální řešení zadaných problémů, je nutné vytvořit databázový systém s možností zadávání expertních dotazů. Grafické uživatelské prostředí systému GUI (z angl. Graphical User Interface) umožňuje uživatelům pohodlně obsluhovat, třídit a vyhledávat data. O editaci dat se stará „méně“ uživatelsky příjemné prostředí, nicméně s výhodou rychlého a zčásti zautomatizovaného záznamu a přenosu dat pomocí maker. Pro editační režim databázového systému je využito prostředí programu Microsoft Excel, samozřejmě s možností editace dat v jakémkoliv jiném tabulkovém editoru s možností exportu do souborového formátu CSV. A pro co nejvyšší spokojenost, přehlednost, rychlost, ale i možnost vlastního vzhledu s přidáváním nových funkcí bylo grafické prostředí databázového systému vytvořeno v programu Microsoft Visual Studio.

5.1 Zadávání a editace dat v prostředí Microsoft Excel

Jak již bylo psáno úvodem této kapitoly, tak pro editaci uvedených dat databáze světelných zdrojů a svítidel je využito prostředí programu Microsoft Excel. Parametry jsou zadávány ve sloupcích a jednotlivým světelným zdrojům nebo svítidlům jsou přiřazeny řádky. Pro světelné zdroje i svítidla jsou především kvůli rozdílnému charakteru zaznamenaných údajů vytvořeny dva editační sobory v prostředí Excelu a také dva databázové systémy, které ovšem mezi sebou dokážou data sdílet, vyhledávat a také parametrově vyhodnocovat. Použití tabulkových editorů pro správu dat je také uživatelsky výhodné z důvodu možnosti provádět přímé matematické nebo statistické výpočty.

5.1.1 Editace záznamů světelných zdrojů

Grafická podoba malé části záznamů vytvořených v tabulkovém editoru Excel je uvedena na *Obrázku 5-1*. Tato tabulka je pojmenována jako „hlavní datová záložka světelných zdrojů“. Jednotlivé sloupce představují udávané parametry světelných zdrojů, od všeobecných, přes světelně-technické, provozně-technické, po elektrické a ostatní. Každý parametr má svoje jedinečné ID číslo, které slouží jako atribut pro jeho identifikaci pomocí databázového systému vytvořeného v prostředí Microsoft Visual Studio. Aby bylo možné uvádět věrohodnost a aktualizaci daného zapsaného parametru, je u každého sloupce s parametrem uveden další sloupec se shodným číslem ID, pomocí kterého jsou tyto atributy uváděny. Jeho název je pro všechny parametry nazván stejně – „platnost“, i když výstižnějším pojmenováním by bylo „původ informace“. Aby byl tento atribut přijímán jednotně v následujícím textu, bude použito jeho označení „platnost – původ informace“. Tento atribut je nepovinný a jeho bližší popis je uveden v následujících kapitolách.

Báze znalostí obsahuje kromě laboratorně naměřených parametrů světelných zdrojů také data získána z katalogových listů a datasheetů výrobců. V následující *Tabulce 5-1* je uveden výčet použitý katalogů včetně uvedení data jejich vydání.

Tab. 5-1 Katalogy použité pro tvorbu báze znalostí.

Výrobce	Popis	Aktuálnost
Narva	Zářivky a kompaktní zářivky	2008
Nichia	LED	2011

Výrobce	Popis	Aktuálnost
Osram	Katalog světelných zdrojů	2009
Osram	Katalog světelných zdrojů	2013
Osram	Výbojky	2009
Osram	Speciální zářiče	2009
Philips	Katalog světelných zdrojů	2008
Philips	Světelné zdroje	2011
Philips	LED Solution	2009
Sylvania	Kompaktní zářivky	2009
Sylvania	LED	2009
Tungsram	Kompaktní zářivka	2009
Cree	LED	2012
Cree	LED 230 V	2012
Cree	LED Cree XP-E	2013
Osram	LED Osram Oslon SSL	2011
Philips	LED Philips Luxeon K2	2008
Philips	LED Philips Luxeon Rebel	2012
Spectrum	Katalog světelných zdrojů	2011
Sylvania	Katalog světelných zdrojů	2012
GE	Katalog světelných zdrojů	2009
GE	Katalog světelných zdrojů	2011

ID sv. zdroje
 Parametry sv. zdrojů
 Parametr věrohodnosti a aktuálnosti informace
 ID sloupce
 Charakter dat ve sloupci

ID	Typ zdroje	Platnost	Výrobce	Platnost	Rodina	Platnost	Typ	Platnost	Označení	Platnost	Typický příkon (W)	Platnost
1	2	2	3	3	4	4	5	5	6	6	7	7
INTEGE TEXT	INTEGE TEXT	INTEGE TEXT	INTEGE TEXT	INTEGE TEXT	INTEGE TEXT	INTEGE TEXT	INTEGE TEXT	INTEGE TEXT	INTEGE TEXT	INTEGE TEXT	INTEGE FLOAT	INTEGE
M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M
1	lineární zářivka	4	Osram	4	.	4	Lumilux T5 high effic	4	14W/865	4	14,00	4
2	lineární zářivka	4	Osram	4	.	4	Lumilux T5 high effic	4	14W/840	4	14,00	4
3	lineární zářivka	4	Osram	4	.	4	Lumilux T5 high effic	4	14W/830	4	14,00	4
4	lineární zářivka	4	Osram	4	.	4	Lumilux T5 high effic	4	14W/827	4	14,00	4
5	lineární zářivka	4	Osram	4	.	4	Lumilux T5 high effic	4	21W/865	4	21,00	4
6	lineární zářivka	4	Osram	4	.	4	Lumilux T5 high effic	4	21W/840	4	21,00	4
7	lineární zářivka	4	Osram	4	.	4	Lumilux T5 high effic	4	21W/830	4	21,00	4
8	lineární zářivka	4	Osram	4	.	4	Lumilux T5 high effic	4	21W/827	4	21,00	4
9	lineární zářivka	4	Osram	4	.	4	Lumilux T5 high effic	4	28W/865	4	28,00	4
10	lineární zářivka	4	Osram	4	.	4	Lumilux T5 high effic	4	28W/840	4	28,00	4
11	lineární zářivka	4	Osram	4	.	4	Lumilux T5 high effic	4	28W/830	4	28,00	4
12	lineární zářivka	4	Osram	4	.	4	Lumilux T5 high effic	4	28W/827	4	28,00	4
13	lineární zářivka	4	Osram	4	.	4	Lumilux T5 high effic	4	35W/865	4	35,00	4
14	lineární zářivka	4	Osram	4	.	4	Lumilux T5 high effic	4	35W/840	4	35,00	4
15	lineární zářivka	4	Osram	4	.	4	Lumilux T5 high effic	4	35W/830	4	35,00	4

Obr. 5-1 Záznam světelných zdrojů v hlavní datové záložce v prostředí MS Excel.

Uváděné parametry jsou různého charakteru, pro zjednodušení by bylo možné uvést vše jako text, nicméně tím by bylo omezeno použití těchto záznamů jako čísel, dat, případně hypertextových odkazů. Proto je možné každému sloupci podle charakteru dat přiřadit jeho uvedený formát, který se nejvíce projeví při následné selekci nebo vyhledávání. Pro ID čísla a hodnoty „platnosti - původu dat“ je implicitně používáno celočíselných hodnot typu INTEGER.

Každému uvedenému světelnému zdroji je vyhrazen jeden řádek v tabulce a přiděleno jedinečné ID číslo v první zeleném sloupci. Opět je to parametr, pod kterým je v prostředí

programu Microsoft Visual Studio provedeno přiřazení parametrů zaznamenaných u konkrétního světelného zdroje. Jelikož mohou být parametry aktualizace a věrohodnost rozdílné pro jednotlivá zaznamenaná data, je možné pro každý záznam použít také rozdílné ID parametru „platnost - původ informace“. V případě získání dat z různých zdrojů, nebo například při datech získaných laboratorním měřením, je možné jednomu světelnému zdroji s jedinečným ID přiřadit více rozdílných dat s rozdílným parametrem „platnost - původ informace“. To lze provést zapsáním více řádků se shodným ID světelného zdroje, ale s rozdílnými parametry. Mezi těmito hodnotami je poté možné se přepínat v grafickém rozhraní databázového systému.

Kromě dat přímo zadaných je umožněno zaznamenávat data prostřednictvím odkazu jakéhokoli multimediálního formátu. Například v současné době v programech s grafickým rozhraním je umožněno zobrazovat fotografie světelných zdrojů nebo zobrazovat grafy a tabulky naměřených hodnot. Soubory multimediálního obsahu mají své pevné místo v předem vytvořené hierarchii složek databázového systému.

5.1.1.A Zadávání atribut a dělení parametrů světelných zdrojů

V editačním prostředí programu Microsoft Excel jsou kromě hlavní datové záložky uvedené na *Obrázku 5-1* vytvořeny i záložky pro zadávání atributu „platnost – původ informace“ a také možnosti členění uvedených parametrů do skupin, které je poté viditelné v grafickém rozhraní. Samostatnou skupinou je řešení parametrů pro vyhledávání, vzájemné porovnávání nebo selekci zaznamenaných parametrů.

Na *Obrázku 5-2* je ukázka řešení záložky pro zadávání parametru „platnost – původ informace“. Opět pro načtení dat databázovým systémem má každý uvedený parametr své zadané ID uvedené ve druhém řádku. První sloupce tvoří jedinečné ID parametru „platnost – původ informace“, jenž se shoduje s ID číslem uvedeným u parametru „platnost – původ informace“ každého záznamu v hlavní záložce dat světelných zdrojů. V druhém sloupci je možné uvést typ použitého zdroje dat, zpravidla nejčastěji se jedná o katalogový údaj, laboratorní měření nebo odkaz na publikaci, či webovou stránku. Třetí sloupec pomocí procentuální hodnoty určuje míru věrohodnosti dat. Tuto míru a rozsah hodnot je možné uživatelsky měnit. Implicitně je 100 % přiřazeno nezvratitelnému faktu, 90 % laboratorně naměřeným hodnotám, 80 % katalogovým údajům, které jsou zpravidla pouze střední statistickou hodnotou s určitým rozptylem. Stejná hodnota je udělena i publikacím, článkům a ověřeným informacím z internetu. 70 % je přiřazeno neodborným publikacím nebo internetovým stránkám bez ověření. A hodnota menší než 60 % je přidělena datům informativního charakteru nebo domněnkám. Opět toto dělení je možné uživatelsky libovolně měnit

	A	B	C	D	E	F	G
1	ID	Typ	Věrohodnost	Aktuálnost	Zdroj		
2	1	2	3	4	5		
3	INTEGER	TEXT	FLOAT	DATE	TEXT		
4	M	M	M	M			
5	Náz. zdroje	1 Narva kat.	80	1.1.2008	Narva zářivky_a kompaktní zářivky_2008.pdf		
6	Věrohodnost (%)	2 Nichia kat. A	80	1.1.2009	NICHIA_LED_katalog_2009.pdf		
7	Datum zdroje	3 Nichia kat. B	80	1.1.2011	NICHIA_LED_2011.pdf		
8	Odkaz na zdroj	4 Osram kat. A	80	1.1.2009	Osram_Katalog_světelných_zdrojů_2008_2009.pdf		
9		5 Osram kat. B	80	1.1.2013	Osram_2012_2013.pdf		
10		6 Osram kat. C	80	1.1.2009	osram - vybojky.pdf		
11		7 Osram kat. D	80	1.1.2009	osram - specialni zarice.pdf		
12		8 Philips kat. A	80	1.1.2008	Philips_Katalog_světelných_zdrojů_2007_2008.pdf		
13		9 Philips kat. B	80	1.1.2011	Philips_sv_zdroje_2011.pdf		
14		10 Philips kat. C	80	1.1.2009	Philips_Led_solutions_2009.pdf		

Obr. 5-2 Zadávání parametru „platnost – původ informace“.

Čtvrtý sloupec je určen pro zadání aktuálnosti. Pro katalogové údaje je to časový údaj vydání nebo nabytí platnosti daného parametru. Pro laboratorní měření je to datum měření. Datum lze zadat ve formátu DD.MM.YYYY, MM.YYYY nebo YYYY. A poslední pátý sloupec má charakter odkazu buď na online dostupný zdroj pomocí hypertextového odkazu nebo přímo uvedeným názvem souboru. Souborem může být katalog výrobce nebo naměřené laboratorní údaje, například ve formě laboratorního protokolu.

Opět podobně jako zadávání údajů v záložce „platnost – původ informace“ je umožněno uživatelsky editovat členění a zobrazování zadaných parametrů světelných zdrojů do skupin. Příklad je uveden na *Obrázku 5-3*. První sloupec udává ID parametru, pomocí kterého se řídí zobrazované pořadí. Druhým sloupcem je zobrazovaný název, pokud je pole prázdné, program použije název parametru z hlavní datové záložky světelných zdrojů. Třetí sloupec uvádí číslo sloupce parametru shodné s ID sloupcem v hlavní datové záložce světelných zdrojů.

Pro účely přehledného a pochopitelného zobrazení parametrů v grafickém rozhraní je možné jednotlivé parametry řadit do skupin. Názvy těchto skupin jsou uvedeny ve čtvrtém sloupečku této záložky. Parametry ve stejné skupině se označují stejným názvem skupiny. A poslední pátý sloupec je určen pro výběr maximálně pěti parametrů, které se v grafickém rozhraní databázového systému zobrazují u jednotlivých světelných zdrojů v základní tabulce. Pro zobrazení daného parametru je potřebné přidělit parametru logickou hodnotu „1“, ostatním parametrům je automaticky přidělena hodnota „0“.

	A	B	C	D	E	F
1	ID	Název sloupce	Číslo sloupce tabulky zdrojů	Název členění	Zobrazit v tabulce	
2	1		2	3	4	5
3	INTEG	TEXT	INTEGER	TEXT	BOOLEAN	
4	M		M	M		
5	1			1 Základní parametry		
6	5			5 Základní parametry	1	
7	6			6 Základní parametry	1	
8	4			4 Základní parametry		
9	2			2 Základní parametry	1	
10	3			3 Základní parametry	1	
11	7			7 Elektrické parametry		
12	8			8 Elektrické parametry		
13	9			9 Elektrické parametry		
14	10			10 Elektrické parametry		

Obr. 5-3 Zadávání parametrů členění ve skupinách parametrů.

Poslední záložkou, kterou je možné v prostředí tabulkového editoru uživatelsky měnit, je záložka pro nastavení vyhledávání nebo selekci parametrů světelných zdrojů. Princip je totožný s předchozími záložkami a jeho ukázka je znázorněna na *Obrázku 5-4*. V prvním sloupci je možné měnit pořadí vybraných parametrů pro vyhledávání. Druhý sloupec je nepovinný a uvádí se v něm pro přehlednost název vybraného parametru určeného pro vyhledávání. Třetí sloupec je shodný s ID číslem konkrétního parametru světelného zdroje – sloupcem v hlavní záložce dat. Jelikož je u světelných zdrojů často uváděn parametr za určitých stanovených podmínek, tak se často stává, že pro jeden parametr je vyhrazeno více sloupců s různým popisem, přestože se jedná v podstatě o parametr totožný. A právě především pro účely vyhledávání je výhodnější tyto parametry sjednotit. Příkladem může být dosahovaný světelný tok u světelných diod definovaný při rozdílném jmenovitém proudu diody. Pro účely vyhledávání je možné tyto parametry sjednotit pod jednotným pojmem „světelný tok“, tak jak je uvedeno na žlutě označených rádcích *Obrázku 5-4*. Je-li takto sjednocených záznamů uvedeno více, přednost dostává záznam s vyšší hodnotou věrohodnosti a je taktéž možné mezi jednotlivými záznamy v grafickém prostředí přepínat.

	A	B	C	D	E
1	ID	Název	Číslo	Sloučit	
2	1		2	3	4
3	INTEGER TEXT		INTEGER TEXT		
4	M		M		
5	1	Typ zdroje		2	
6	2	Výrobce		3	
7	3	Rodina		4	
8	4	Typ		5	
9	5	Typický příkon		7	Příkon (W)
10	6	Maximální příkon		8	Příkon (W)
11	7	Jmenovité/provozní/napájecí napětí		9	Napětí (V)
12	8	Napětí na zdroji/výboji		10	Napětí (V)
13	9	Typický proud		11	Proud (A)
14	10	Maximální proud		12	Proud (A)
15	11	Světelný tok po 100 h provozu		16	Světelný tok (lm)
16	12	Světelný tok po 40% života		17	Světelný tok (lm)
17	13	Světelný tok @350 mA		18	Světelný tok (lm)
18	14	Světelný tok @700 mA		19	Světelný tok (lm)

Pořadí parametru pro vyhledávání
 Název parametru vyhledávání
 Číslo sloupce parametru
 Sloupce sloučené pod jedním parametrem vyhledávání

Obr. 5-4 Zadávání parametrů pro vyhledávání.

5.1.2 Editace záznamů svítidel

Databázový systém svítidel je také založen na záznamu a editaci jednotlivých parametrů v prostředí tabulkového editoru Microsoft Excel. Příklad hlavní datové záložky je uveden na Obrázku 5-5. Způsob záznamu, dělení a vyjadřování platnosti a původu informace zapsaných dat je totožný se systémem pro světelné zdroje.

Opět je možné využívat multimediálních formátů dat pro zobrazení podoby svítidel, jejich jednotlivých funkčních částí. Zobrazovat a vzájemně porovnávat v grafické nebo tabulkové podobě naměřená data nebo odkazovat na katalogy výrobců.

	1	2	3	4	5	6	7
1	INTEGER TEXT	INTEGER TEXT	INTEGER TEXT	INTEGER TEXT	INTEGER TEXT	INTEGER TEXT	INTEGER TEXT
2	Svídlo_indukční_zá	1	1	1			
3	Svídlo_indukční_zá	2	2	2			
4	Svídlo_indukční_zá	3	3	3			
5	Svídlo_Tyrsa_A	4	4	4			
6	Svídlo_Tyrsa_B	5	5	5			
7	NBB_Bohemia_A	6	6	6			
8	NBB_Bohemia_B	6	6	6			
9	S29.211.T35EVG	7	7	7			
10	PS2.L12	8	8	8			
11	S16.L11.K4	8	8	8			
12	S29.L12.K4	8	8	8			
13	S37.L12.0500	9	9	9			
14	S46.L12.0600	9	9	9			
15	S6.L12.900	8	8	8			

ID svítidla
 Parametry svítidla
 Parametr platnosti a aktuálnosti
 ID sloupce
 Charakter dat ve sloupci

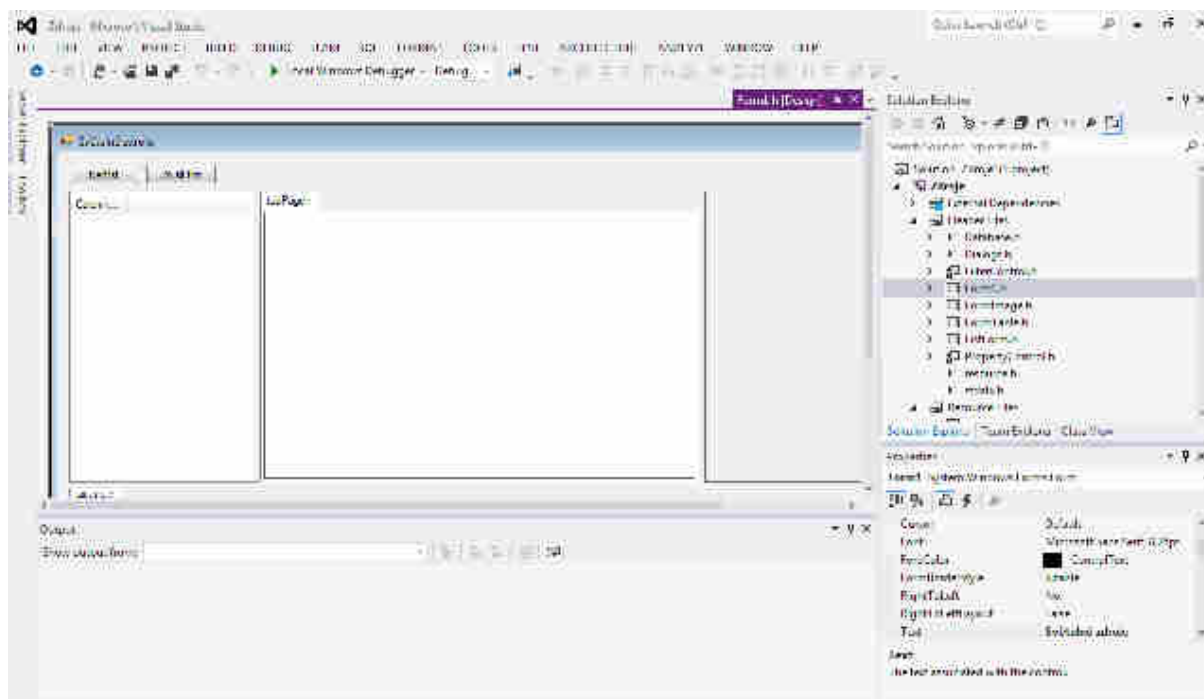
Obr. 5-5 Záznam svítidel v hlavní datové záložce v prostředí MS Excel.

5.1.2.A Zadávání atribut a dělení parametrů svítidel

Princip záznamu a editace parametrů svítidel je naprosto totožný se záznamem v databázovém systému světelných zdrojů. Také princip dalších záložek pro skupinové dělení, zobrazování, vyhledávání a uvádění aktualizace a věrohodnosti dat je taktéž totožný. Proto již není v této kapitole dále popsán.

5.2 Vývojové prostředí databázového systému v prostředí MS Visual Studio

Pro tvorbu samotných databázových systémů pro světelné zdroje i svítidla, s možností zadávání rozšířených a expertních dotazů, bylo zvoleno vývojové prostředí Microsoft Visual Studio. Jeho výhodou je možnost tvorby propracovaných grafických uživatelských prostředí (GUI) s možností přidávání rozšiřujících modulů podle potřeb. Samotný program Microsoft Visual Studio přímo nepodporuje žádný z programovacích jazyků, ale pomocí rozšiřujících balíčků je možné napsat kód programu dle výběru programátora nebo využít vestavěné jazyky C/C++, C# nebo VB .NET. Ukázka tvorby uživatelského grafického rozhraní databázového systému je znázorněna na *Obrázku 5-6*. Programovací jazyk byl zvolen C/C++. Použitá verze programu je z roku 2012, v současné době je již také dostupná verze 2013 [84].



Obr. 5-6 Prostředí programu Microsoft Visual Studio 2012.

Grafické rozhraní je tvořeno za pomoci tzv. vizuálních designerů, ze kterých WinForms Designer obsahuje potřebnou paletu ovládacích prvků jako jsou tlačítka, rolety, bary, popisky aj. Takto vytvořené prvky je možné podle potřeb uživatele umístit a propojit s formulářem programu. Díky možnosti uložení těchto objektů do kontejnerů s funkcí uzavření je poté výsledný program schopen zobrazovat data v několika uživatelsky volitelných zobrazeních. Jednotlivé grafické prvky lze propojit s daty, textovými poli, tabulkami, grafickými soubory a umožnit tak načítání dat do databáze nebo zadávat dotazy. Dalším, pro naše účely potřebným vizuálním designérem, je Designer dat, jenž může být použit pro tvorbu databázových schémat [84].

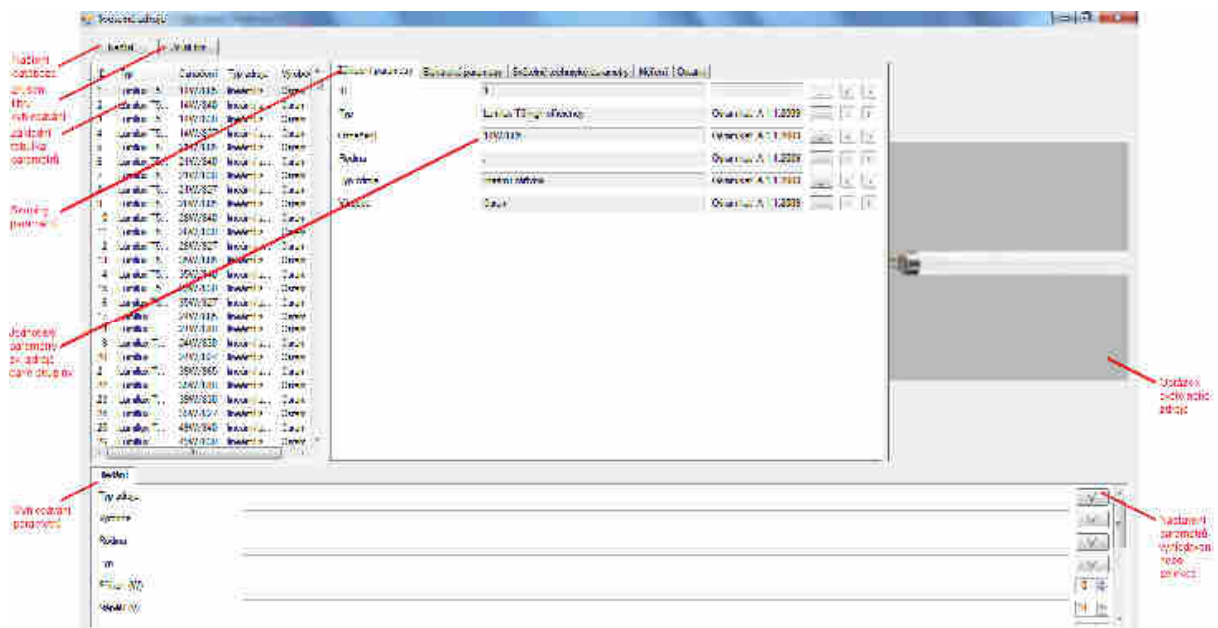
Odladění a zprovoznění programu databáze je možné provádět v integrovaném debuggeru. Do chodu aplikace je možné nastavit tzv. breakpointy, které jsou využívány pro zastavení programu v potřebné pozici. Po odladění programu debuggerem umožňuje vytvoření samostatně spustitelné aplikace, nezávislé na vývojovém prostředí programu Microsoft Visual Studio.

5.3 Databázový systém světelných zdrojů

Databázový systém světelných zdrojů je vytvořen jako samostatně běžící aplikace. Změnu grafického uspořádání jednotlivých prvků a jejich přidávání je možné prozatím pouze z vývojového prostředí Microsoft Visual Studio. Nicméně je možné vytvořit několik uživatelsky volitelných schémat zobrazení, ale i přidání dalších oken a funkcí. Editaci záznamů je možné provádět pouze v tabulkovém editoru, například v programu Microsoft Excel. Způsob zobrazování dat, skupiny parametrů, jejich selektivního výběru a vyhledávání je taktéž možné definovat v tabulkovém editoru. Grafické rozhraní databázového systému slouží pouze pro přehledné uživatelské prohlížení parametrů, ale i nejrůznějším způsobem zadaná vyhledávání a jejich statická vyhodnocení. Je zde také k dispozici propojení s přenosem dat mezi databázovým systémem světelných zdrojů a databází svítidel.

5.3.1 Grafické prostředí databázového systému světelných zdrojů

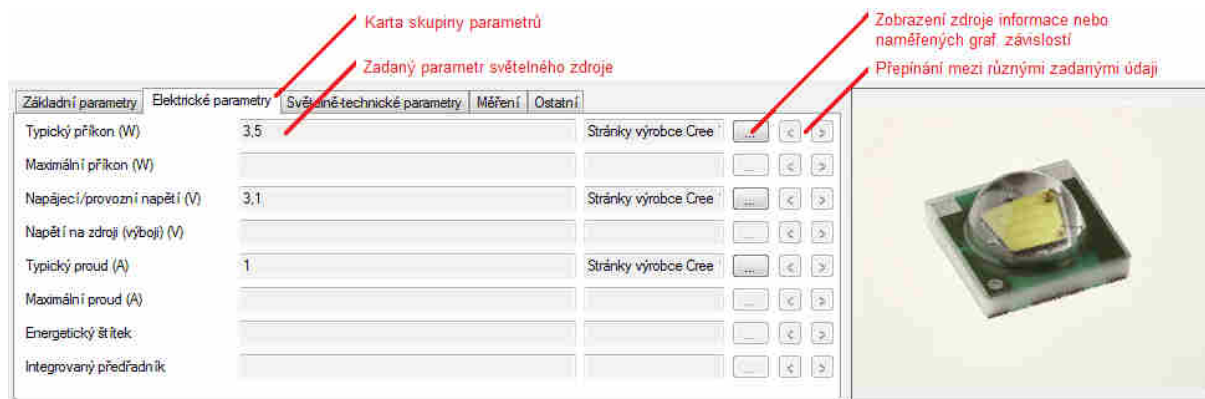
Na *Obrázku 5-7* je znázorněno grafické rozhraní databázového systému světelných zdrojů. Pracovní prostor je rozdělen na pět sektorů. V horní části se nachází lišta tlačítek, kde je v současné době umístěno tlačítko „Načíst“ pro znovunačtení databáze a tlačítko „Zrušit filtr“ pro uvedení všech selektivních filtrů v programu do počátečního stavu. Další tlačítka je možné uživatelsky přidávat podle potřeb, příkladem může být tlačítko pro změnu grafického uspořádání nebo tlačítko pro přidání dalších funkcí. Dalším sektorem vlevo nahoře je základní tabulka parametrů, jenž zobrazuje jednotlivé světelné zdroje podle uživatelsky zvoleného výběru a u nich až pět parametrů. Ve střední horní části je prostor pro zobrazení všech uživatelsky zvolených parametrů, které jsou podle potřeby a přehlednosti zařazeny do skupin. V pravé horní části je prostor pro zobrazení obrázku světelného zdroje, případně několika uživatelsky vložených obrázků, mezi kterými je možné přepínat. Zobrazované rozlišení v horizontální ose je prozatím pevné, ale je možné přidat funkci zoom pro zvětšení detailu fotografií nebo vložených schémat. Poslední část v dolní části je určena pro selekci parametrů nebo jejich vyhledávání.



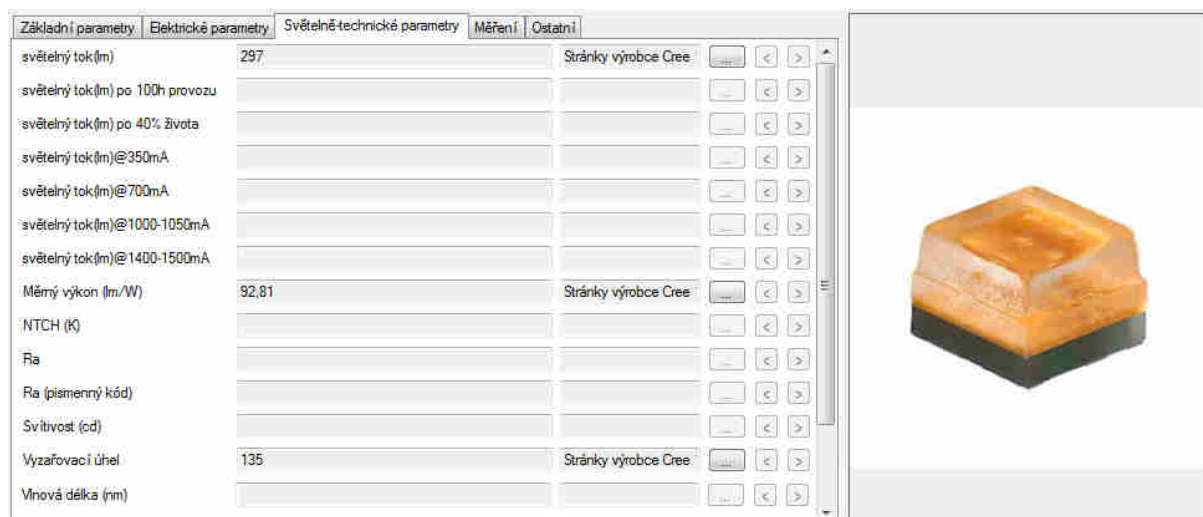
Obr. 5-7 Grafické rozhraní databázového systému světelných zdrojů.

5.3.2 Zobrazení parametrů

Pro přehlednost velkého množství zadaných parametrů je možné uživatelsky měnit jejich zařazení do jednotlivých karet skupin parametrů a těchto karet přidávat libovolné množství. Pro světelné zdroje jsou definovány karty pro zobrazení základních, elektrických a světelně-technických parametrů. Zobrazeny jsou pouze parametry, které jsou vyplněny v hlavní datové záložce datového souboru, ostatní jsou systémem ignorovány. U každého zobrazeného parametru se zobrazuje parametr „platnosti – původu informace“. Další tlačítko (s třemi tečkami), pokud je aktivní, umožňuje zobrazení zdroje dat, buď přímo přiloženého souboru (např. katalogového listu světelného zdroje), nebo může obsahovat hypertextový odkaz, či jakýkoliv běžně používaný multimediální formát dat. V případě měření jsou zobrazena naměřená, vzájemně porovnatelná data. Je-li uvedeno více záznamů jednoho parametru u konkrétního světelného zdroje, je možné mezi nimi přepínat pomocí zaktivovaných tlačítek se šipkami. Automaticky dochází také ke změně parametru platnosti a odkazu na zdroj dané informace. Příklady zobrazení parametrů světelných zdrojů v jednotlivých kartách skupin parametrů jsou znázorněny na *Obrázku 5-8* a *Obrázku 5-9*.



Obr. 5-8 Zobrazení parametrů světelných zdrojů na kartě „Elektrické parametry“.



Obr. 5-9 Zobrazení parametrů světelných zdrojů na kartě „Světelně-technické parametry“.

5.3.3 Aktualizace a věrohodnost parametrů

Jako parametr „platnosti – původu dat“ je možné uvést jakýkoliv odkaz na konkrétní soubor nebo uvést místo nalezení zdroje informací. U světelných zdrojů se převážně jedná o data získaná ze stránek výrobce, z katalogových údajů nebo data získaná laboratorním měřením. Uživatelsky lze

také volit aktuálnost a hodnotu věrohodnosti. Příklady nejčastějších zobrazení jsou uvedeny na *Obrázku 5-10*. Jejich uvádění je nepovinné, ale přispívá ke zvýšení přehlednosti, věrohodnosti a zpětné dohledatelnosti zapsaných dat.

Stránky výrobce Cree 1.1.2013 80%	Parametr ze stránek výrobce sv. zdroje, aktuálnost k 1.1.2013, věrohodnost 80 %
Osram kat. A 1.1.2009 80%	Parametr z katalogu výrobce, aktuálnost k 1.1.2009, věrohodnost 80 %
Lab. měř. 11.7.2011 90%	Parametr získaný laboratorním měřením dne 11.7.2011, věrohodnost 90 %

Obr. 5-10 Zobrazení parametru platnost – původ dat.

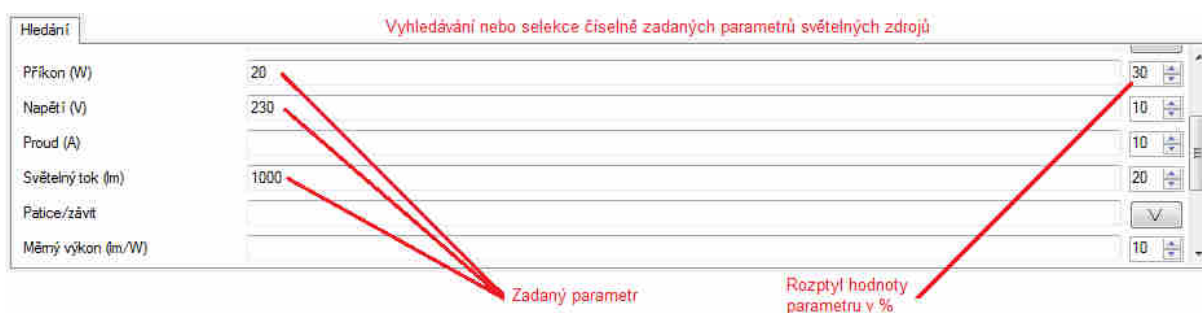
5.3.4 Vyhledávání a selekce parametrů

Způsob vyhledávání a selekce parametrů je závislý na charakteru zadaných dat. V případě parametru zadaného jako text databázový program umožňuje vyhledávat konkrétní řetězec znaků nebo jeho část. Výběr je možné uživatelsky zadávat pomocí zaškrtování polí, tak jak je znázorněno při výběru typu světelného zdroje na *Obrázku 5-11*.



Obr. 5-11 Selekcce textových parametrů světelných zdrojů.

V případě číselných hodnot se daný parametr vyhledává zadáním konkrétní hodnoty s možností nastavení jeho rozptylu v procentech. Takto zadaná selektivní vyhledávání lze různým způsobem kombinovat, včetně kombinace s textovými. Příklad selekce číselně zadaných parametrů světelných zdrojů je uveden na *Obrázku 5-12*.



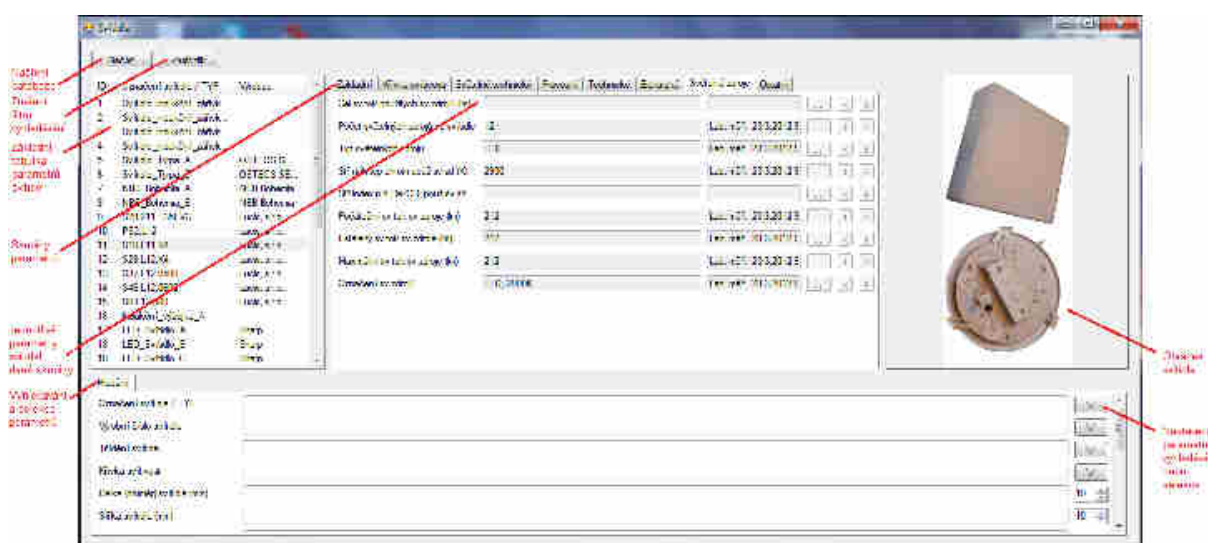
Obr. 5-12 Selekcce číselně zadaných parametrů světelných zdrojů.

5.4 Databázový systém svítidel

Databázový systém svítidel je naprosto totožným programem jako databázový systém světelných zdrojů. Rozdílem je použití různé báze znalostí a ve výsledku také různého uživatelského nastavení zobrazování a vyhledávání parametrů. Po grafické stránce je uživatelské rozhraní prozatím totožné, nicméně kvůli rozdílné povaze zobrazovaných parametrů je možné toto zobrazení potřebně upravit. Jsou zde zachovány totožné funkce jako u databázového systému světelných zdrojů, včetně vzájemné provázanosti dat.

5.4.1 Grafické prostředí databázového systému svítidel

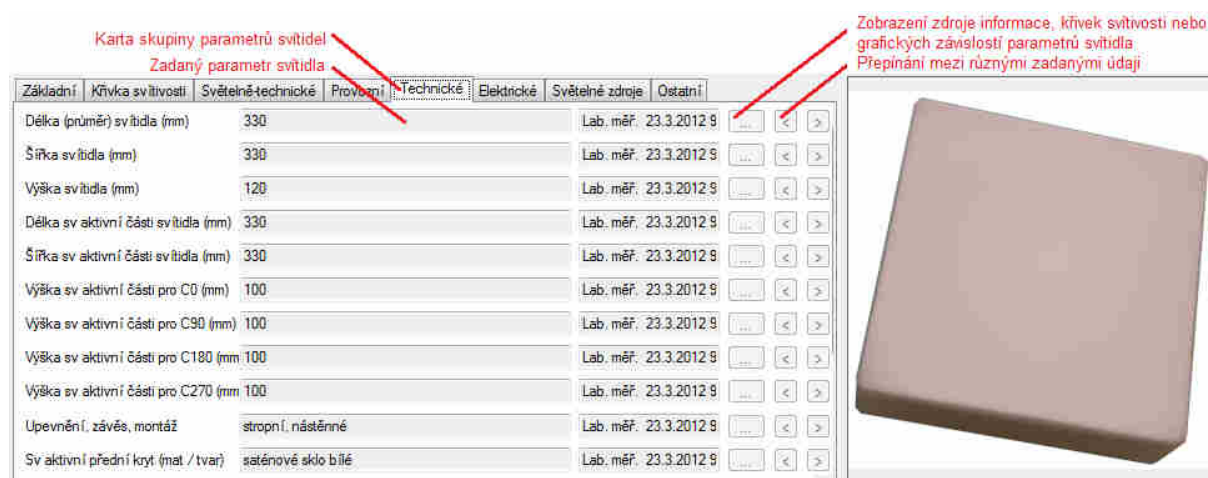
Grafické prostředí databázového systému svítidel je z funkčního hlediska totožné s databázovým systémem světelných zdrojů. Je opět děleno na pět sektorů, které jsou již podrobně popsány v kapitole „5.3.1 Grafické prostředí databázového systému světelných zdrojů“. Lišta tlačítek v horní části programu může být rozšířena o tlačítka pro uživatelsky definovanou změnu vzhladu aplikace a přidávání dalších funkcí. Výhodou by také byla možnost přímého exportu dat o konkrétním svítidle do standardizovaných datových formátů pro popis svítidel, například IES nebo EULUMDAT. Prozatím je možné tuto funkci vykonávat pouze pomocí maker a formulářů v tabulkovém editoru hlavní záložky dat. Ukázka provedení grafického prostředí databázového systému svítidel je znázorněna a popsána na *Obrázku 5-13*.



Obr. 5-13 Grafické rozhraní databázového systému svítidel.

5.4.2 Zobrazení parametrů

Jednotlivé parametry daného svítidla lze opět uživatelsky přiřazovat do zvolených karet. Na rozdíl od světelných zdrojů je velká část parametrů věnována popisu vyzářovaných křivek svítivosti, technickým parametrům a popisu použitých světelných zdrojů ve svítidle. Ukázka technických parametrů svítidla je uvedena na *Obrázku 5-14*.



Obr. 5-14 Zobrazení parametrů svítidel na kartě „Technické parametry“.

5.4.3 Aktualizace a věrohodnost parametrů

Původ dat svítidel je nejčastěji z katalogů nebo elektronických stránek výrobců. Data je taktéž možné získávat měřením nebo exportem z již vytvořených jiných datových formátů.

5.4.4 Vyhledávání a selekce parametrů

Parametry svítidel jsou textového nebo číselného charakteru. Uživatelsky lze opět volit, které z parametrů svítidel je možné použít pro vyhledávání a selekci. Případně lze vybrané parametry sjednotit. Ukázka vyhledávání a selekce textových parametrů svítidel je uvedena na *Obrázku 5-15*. Zadávání číselných parametrů svítidel včetně jejich rozptylu je uvedeno na *Obrázku 5-16*.



Obr. 5-15 Selekcce textových parametrů svítidel.



Obr. 5-16 Selekcce číselných parametrů svítidel.

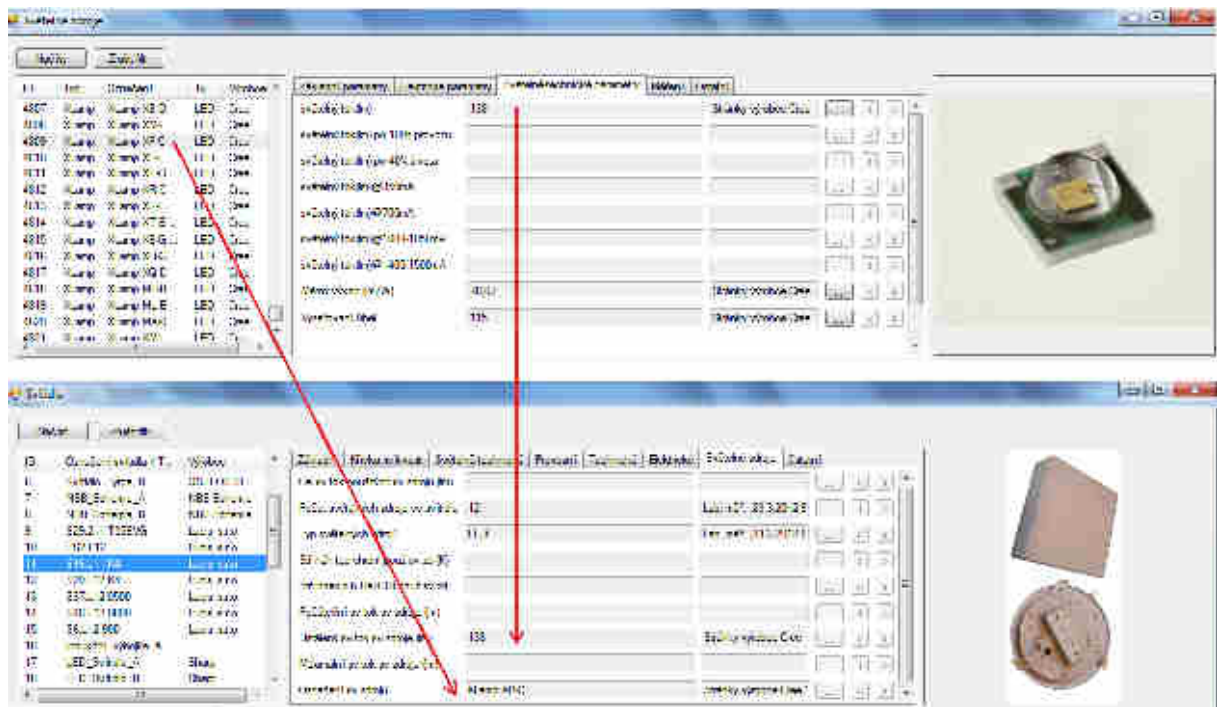
5.5 Vzájemné provázání a export dat

Aby bylo možné databázové systémy světelných zdrojů a svítidel plnohodnotně využít, je možné použít velké množství rozšiřujících funkcí. Původně byly systémy zamýšleny jako vyhledávače podle zadaných kritérií a zobrazovače jednotlivých parametrů. Rozšiřující funkce tyto možnosti zdokonalují a v závislosti na přání uživatele lze vytvářet další. V této kapitole je uvedena ukázka některých realizací, nicméně pro plnohodnotný expertní systém s možností zadávání expertních dotazů by bylo potřeba těchto vzájemně provázaných funkcí vytvořit velké množství, což již není součástí této práce. Hlavní důraz byl kladen na vytvoření funkčních databázových systémů s ukázkou několika možných způsobů využití.

5.5.1 Export dat mezi databázemi světelných zdrojů a databázemi svítidel

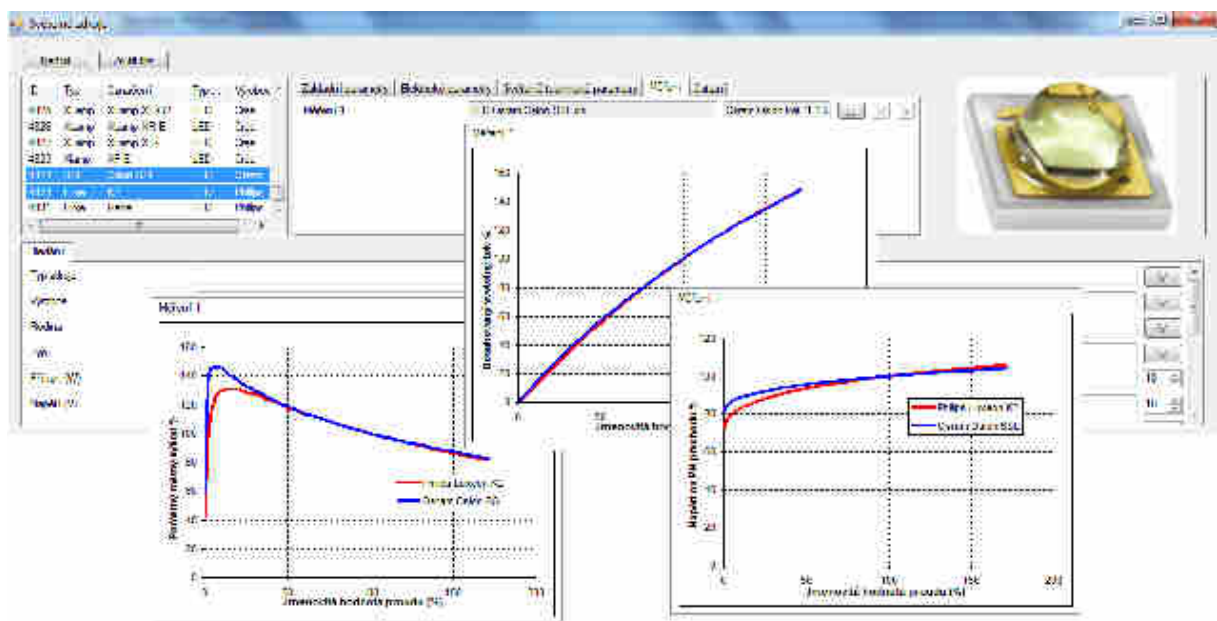
Právě provázanost databázových systémů je ukázkou použití rozšířených funkcí. Data obsažená v bázi dat databázového systému světelných zdrojů mohou být exportována do databázového systému svítidel. Tuto funkci lze prakticky využít pro export konkrétního světelného zdroje pro svítidlo. Ukázka tohoto exportu dat je znázorněna na *Obrázku 5-17*.

V současnosti je tohoto efektu dosaženo pomocí maker přímo v bázi znalostí obou systémů. Pro aplikaci změny je potřeba v obou systémech provést znovunačtení dat. Výhodnějším řešením by nicméně bylo provádět změny přímo v uživatelském rozhraní databázových systémů například pomocí funkce drag-and-drop. Stejným způsobem by do budoucna mohl být řešen přenos celých bloků dat nebo skupin parametrů mezi systémy. Změnou sad světelných zdrojů ve svítidle by nebylo dosaženo pouze změny parametrů těchto zdrojů, ale systém by mohl v závislosti na získaných vazbách a zkušenostech umožnit přibližný odhad změny i výsledných parametrů včetně změny tvaru křivek svítivosti.



Obr. 5-17 Export dat mezi databázových systémem světelných zdrojů a svítidel.

5.5.2 Vzájemné grafické porovnání parametrů světelných zdrojů

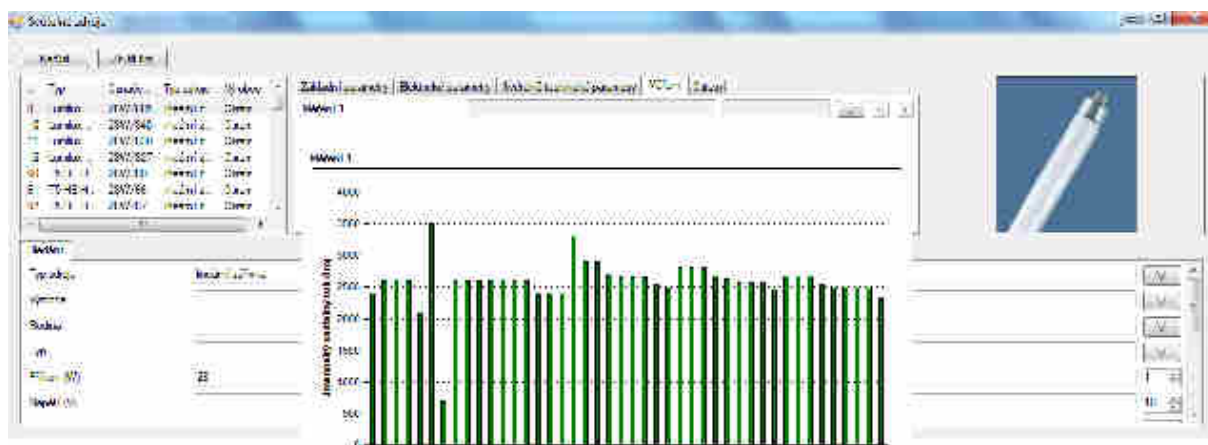


Obr. 5-18 Grafické porovnání provozních parametrů dvou sv. diod v databázovém systému.

Často je potřeba za účelem vhodnějšího výběru mezi světelnými zdroji provést porovnání jejich provozních parametrů. Pro tento účel je nejvhodnějším řešením provedení grafického porovnání pomocí křížových charakteristik (v relat. nebo abs. hodn.). Jsou-li u více světelných zdrojů uloženy navzájem porovnatelné parametry, databázový systém toto porovnání umožňuje. Uživatelsky lze navolit u kterých světelných zdrojů má k porovnání dojít a také v uložených závislostech rozhodnout, jaké parametry graficky zobrazit. Příklad grafického porovnání relativních hodnot dosahovaného světelného toku, napětí na PN přechodu a výsledného měrného výkonu na velikosti napájecího proudu u dvou světelných diod je znázorněno na *Obrázku 5-18*.

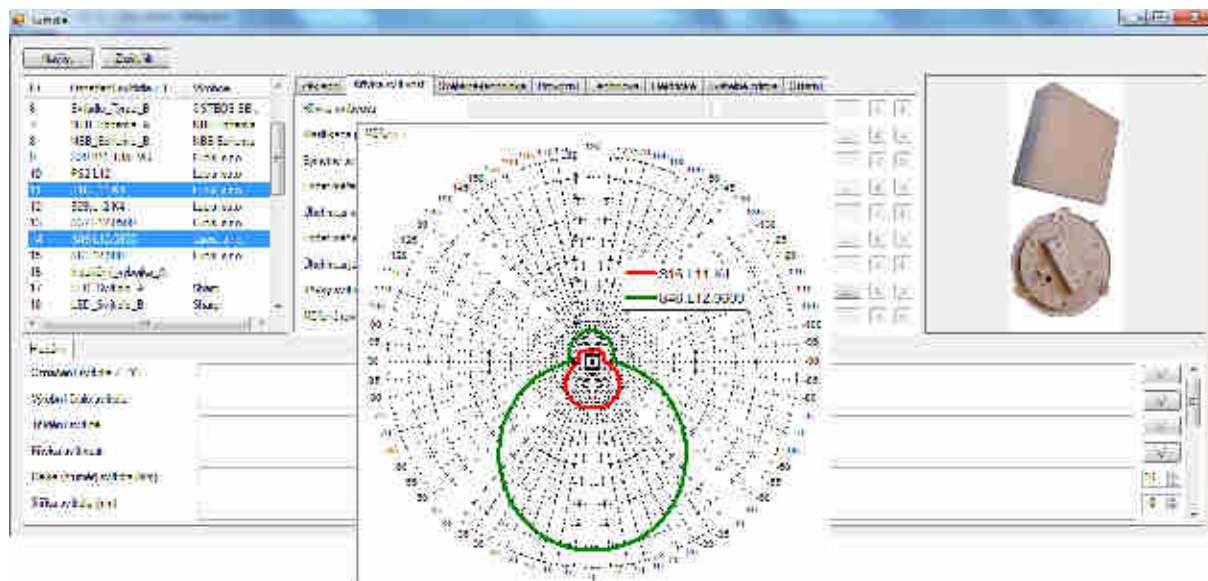
5.5.3 Statistické a hromadné vyhodnocení parametrů světelných zdrojů

Podobně jako je možné pomocí databázového systému světelných zdrojů porovnávat konkrétní parametry světelných zdrojů v grafické podobě, je možné systém vzájemného porovnání aplikovat na celou skupinu světelných zdrojů nebo světelné zdroje s vybranými parametry. Příklad graficky znázorněného rozptylu jmenovitého světelného toku u lineárních zářivek s jmenovitým příkonem 28 W je uveden na *Obrázku 5-19*.



Obr. 5-19 Hromadné znázornění parametrů vybraných sv. zdrojů.

5.5.4 Vzájemné grafické porovnání parametrů svítidel



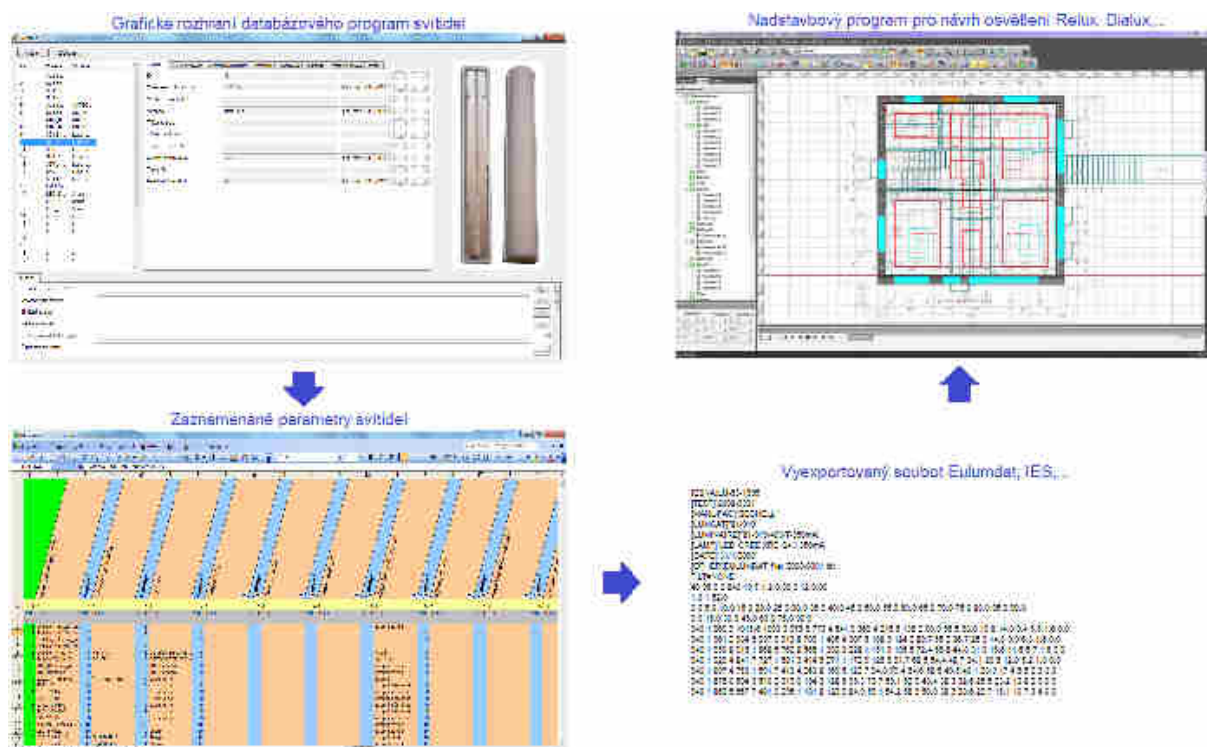
Obr. 5-20 Porovnání křivek svítivosti dvou svítidel v databázovém systému svítidel.

Databázový systém svítidel taktéž umožňuje graficky porovnávat uložené parametry u více svítidel. Nicméně, na rozdíl od světelných zdrojů, u svítidel přichází vhod pouze porovnání parametrů použitých sad světelných zdrojů a křivek svítivosti. Právě křivkám svítivosti je při popisu svítidel věnovaná celá skupina parametrů. U svítidel, kde jsou tyto křivky uvedeny, lze provést jejich grafické porovnání v absolutních i relativních hodnotách. Ukázka vzájemného grafického porovnání křivek svítivosti dvou svítidel v grafickém uživatelském rozhraní databázového systému svítidel je uvedena na *Obrázku 5-20*.

5.5.5 Export dat z databázového systému svítidel do nastavbových programů

Výstupem z databázového systému svítidel může být soubor použitelný v nastavbových programech, například v programech pro návrh osvětlovacích soustav Relux nebo Dialux. Jelikož tyto programy mohou pracovat se vstupními informacemi o svítidlech uloženými v datových formátech EULUMDAT nebo IES, je výhodné z databázového systému převést část dat do těchto formátů. Bohužel tímto způsobem je uživatel připraven o výhodu možného zápisu všech dostupných parametrů, jež není možné vyexportovat do daných datových formátů. Export dat je prováděn opět přes makro příkaz vytvořený v prostředí programu Microsoft Excel.

V databázovém systému svítidel jsou na základě uživatelské selekce vybrány svítidla, jejichž parametry jsou z báze znalostí pomocí maker exportovány do souborů formátů EULUMDAT a IES. Tyto datové soubory je možné použít jako vstupní data pro nastavbové programy a systémy pro návrh osvětlovacích soustav. Tento proces je znázorněn na *Obrázku 5-21*.



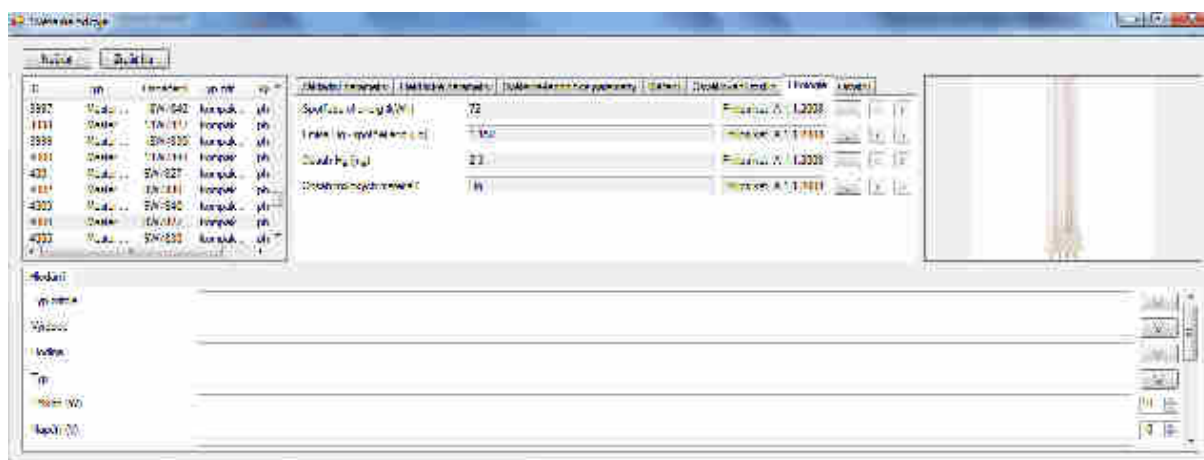
Obr. 5-21 Export dat z databázového systému svítidel do nastavbových programů.

5.5.6 Využití databázového systému pro sběr méně častěji uváděných parametrů světelných zdrojů

Databázový systém lze použít i pro sběr a vyhodnocení méně častěji uváděných parametrů světelných zdrojů, jenž se běžně neuvádějí ani v datových formátech a v katalogových listech výrobce pouze výjimečně. Uživatelsky lze systém rozšiřovat o další parametry tohoto charakteru, což z databázového systému dělá jedinečný nástroj.

Příkladem jsou parametry světelných zdrojů související s ekologií výroby a provozu nebo využití světelných zdrojů pro osvětlování rostlin. Většina těchto parametrů není výrobcí přímo uváděna, ale je možné je získat za pomoci výpočtů nebo přibližných odhadů. Proto i parametr „platnost – původ informace“ respektive „věrohodnost“ je zpravidla odlišný od ostatních světelných zdrojů, které výrobce uvádí jako střední hodnotu získanou z většího množství těchto zdrojů.

Ve skupině parametrů světelných zdrojů „Ekologie“, která je znázorněna na *Obrázku 5-22*, jsou uvedeny čtyři parametry. Prvním je spotřeba elektrické energie světelného zdroje po celou dobu jeho života. Právě uváděný parametr tohoto typu je nutné brát s velkým rozptylem reálných hodnot, protože samotný reálný příkon světelného zdroje může být odlišný od jmenovitého příkonu a navíc se při stárnutí světelného zdroje mění. Také skutečná technická doba života zdroje je odlišná od uváděné střední hodnoty. Každý zdroj může mít velkou statistickou odchylku od této hodnoty, navíc značně závisí pro charakteru provozu a provozních napájecích parametrech během celého života. Nicméně je to hodnota informativní pro uživatele – pro zákazníka hodnota značně zajímavá. Parametr druhý v pořadí na kartě světelných zdrojů „Ekologie“ udává emise plynné rtuti při výrobě elektrické energie po celou dobu života světelného zdroje. Opět je parametr získán úvahou, že emise rtuti jsou produkovány při současné skladbě elektráren v ČR především v prozatím dominantních uhelných elektrárnách. Proto je možné definovat množství uvolněné rtuti do životního prostředí pro výrobu jedné kWh. Další parametr je často uváděný výrobcí, jedná se o obsah rtuti ve výbojových světelných zdrojích. A posledním parametrem je textový výpis všech toxických materiálů, které světelný zdroj obsahuje, případně může být uvedeno i jejich množství. Kromě rtuti se jedná především o olovo, kadmium a thorium, případně toxické a životnímu prostředí nebezpečné sloučeniny na bázi stroncia, barya a selenu.

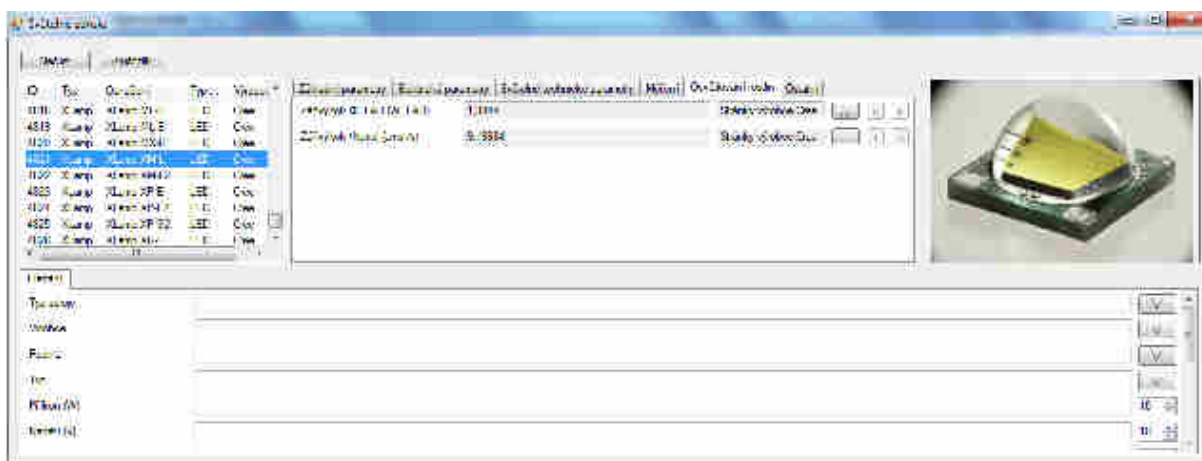


Obr. 5-22 Karta parametrů světelných zdrojů „Ekologie“.

Způsobů, jak popsat vhodnost světelného zdroje pro osvětlování rostlin, je velké množství, z nichž nejpřesnějším je uvedení spektrální distribuce v korespondenci se spektrální citlivostí

jednotlivých fotoreceptorů osvětlované rostliny. Tento způsob je v praxi obtížně praktikovatelný, jelikož každá rostlina má spektrální nároky na osvětlení trochu odlišné. Navíc i při znalosti spektra by bylo nutné pro získání daných parametrů použít složité výpočty.

Při znalosti spektrální distribuce světelných zdrojů je možné určit účinnost a tedy i vhodnost vytvořeného záření pro osvětlování rostlin, respektive rostliny se střední spektrální citlivostí. Toho se v praxi nejčastěji využívá a pro výpočet je uvažována spektrální citlivost rostlin podle McCree křivky. Více informací pro získání těchto dat je uvedeno v kapitole „2.3.4 Osvětlování rostlin“. Výsledkem je poté ekvivalentní světelný tok záření produkovaný světelným zdrojem, jenž je možné pro osvětlování rostlin využít. Jelikož se nejedná o fotometrickou veličinu, je používán zářivý tok ve fotosynteticky aktivní oblasti spektra, tedy mezi vlnovými délkami 400 až 700 nm. Jednotkou jsou W_{FAR} . Možná častěji používanou veličinou pro popis účinnosti a vhodnosti světelného zdroje je použití zářivého toku, který dokáže z anorganických molekul stavebních látek rostliny vytvořit molekuly organické. Jednotkou této veličiny jsou $\mu\text{mol}\cdot\text{s}^{-1}$. Tyto veličiny získané výpočtem jsou uvedeny ve skupině parametrů v databázovém systému světelných zdrojů „Osvětlování rostlin“ a jsou znázorněny na *Obrázku 5-23*.



Obr. 5-23 Skupina parametrů pro osvětlování rostlin v databázovém systému sv. zdrojů.

6 ZÁVĚR

Problematika dnes velkého dostupného množství nabízených světelných zdrojů a svítidel je zřejmá každému i do světelné techniky nezajímavému kupujícímu. Dřívější potřebná znalost „pouze příkonu žárovky“ je dnes již absolutně nedostačující. Nakupující musí být srozuměn s pojmy jako například „teplota chromatičnosti“ nebo „barva světla“, protože nejednou se již uvedl v omyl při nákupu „prodejcem doporučeného ekvivalentu“ konvenčního světelného zdroje (původně obyčejné žárovky) ve formě kompaktní zářivky nebo nekvalitní LED, která produkovala méně nekvalitní „studené“ světlo. Propagovaná výhoda moderních světelných zdrojů z pohledu výhodné investice i za cenu několikasetkorunových vstupních nákladů je vzhledem k rychlému zastarávání technologie a sortimentů nabízeného zboží minimálně diskutabilní. Na druhou stranu s novými světelnými zdroji přibýly pojmy jako ekologie, jedovaté látky, ale třeba i pojem Blue Hazard, se kterým není běžný spotřebitel seznámen.

Tyto zvýšené nároky je nutné redukovat například formou inteligentních databázových systémů, které pomohou světelným technikům, ale do budoucna i běžným nakupujícím občanům poradit a nalézt optimální řešení jejich požadavků. Nicméně toto předpokládá vytvoření plnohodnotných expertních systémů s využitím prvků umělé inteligence, které budou s okolím komunikovat prostřednictvím běžně srozumitelných pojmů, případně audiovizuálně v celých větách. To je ale v dnešní době spíše utopická idea, předpokládající hromadné nasazení těchto systémů a především předpokládající úzkou podporu ze strany výrobců, distributorů a prodejců komponentů pro osvětlování. Bohužel v dnešní době má převahu reklama s vyzdvihováním konkurenčních výhod jednotlivých výrobců a zatajováním konkurenčních nevýhod.

Tato disertační práce navazuje na výsledky grantového projektu GAČR 102/03/1162 „Realizace expertního systému pro osvětlovací techniku“ a habilitační práci Petra Baxanta [1]. Prozatím tedy alespoň částečně plní výše zmíněné cíle. Nicméně vzhledem k zadání a požadovanému rozsahu všechny cíle této práce byly naplněny. Byly vytvořeny databázové systémy pro sběr, třídění, porovnávání a vyhledávání parametrů světelných zdrojů a svítidel s uživatelsky volitelnou možností zadávání expertních dotazů.

Výsledkem je komplexní návod pro postup při návrhu těchto databázových systémů. Práce je dělena do několika základních kapitol, přičemž nejobsáhlejší kapitolu tvoří seříděná sbírka parametrů světelných zdrojů a svítidel. Jsou to parametry uváděné jednotlivými výrobci nebo parametry získané laboratorním měřením. Převážná část z nich je ukázkově demonstrována naměřenými hodnotami, závislostmi a průběhy, které byly získány během vlastního doktorského studia. Nejedná se čistě o sběr naměřených statických provozních parametrů, ale i parametrů dynamických, včetně uvedení různých relací, závislostí, modelů a statisticky vyhodnotitelných dat. Kromě parametrů a dat vysloveně určených pro popis a možný výběr vhodných světelných zdrojů a svítidel jsou zde zmíněny ty, jež nabývají na důležitosti při speciálních aplikacích, jako například při osvětlování rostlin. Nebo při hledání ekologických aspektů při výrobě, upotřebení i následné likvidaci světelných zdrojů či svítidel. Důležitost některých uváděných parametrů není z dnešního pohledu příliš doceněna, ale je to spíše výzva do budoucna zabývat se jejich sběrem a tříděním již dnes.

Další obsáhlá kapitola této práce je spíše rešeršního charakteru, nicméně nese sebou neméně důležité informace pro tvorbu a především nadčasovost vytvořených databázových systémů. Kapitola je věnována podrobnému třídění, popisu, historickému vývoji a momentálně dostupnému konstrukčnímu řešení světelných zdrojů. Z báze znalostí databázového systému

světelných zdrojů jsou u jednotlivých zástupců uvedeny rozsahy výrobci uváděných parametrů. Hlavním úkolem kapitoly je tedy uvedení specifik v konstrukci a provozních parametrech konkrétních zástupců tak, aby s nimi bylo ve výsledném databázovém systému počítáno. Uvedený historický vývoj poukazuje na trendy ve vývoji a s jistou pravděpodobností predikuje budoucí vývoj, se kterým je možné počítat. Právě předpoklad budoucího vývoje, udržování databáze aktuální a sledování moderních trendů, umožní použít vytvořené databázové systémy jako jedinečný nástroj pro sběr katalogových i laboratorně naměřených dat.

Dnes používané datové formáty ve světelné technice a požadavky na ně kladené jsou uvedeny v kapitole následující. V současnosti jsou v jednotné podobě hromadně a mezinárodně používány pouze datové formáty pro popis svítidel. Nicméně značnou nevýhodou je jejich vzájemná nekompatibilita, ale především nízká univerzálnost použití a neaktuálnost. Aktualizace probíhají příliš pomalu a naprosto nerespektují dnešní potřeby navrhovatelů osvětlovacích soustav. Pro světelné zdroje prozatím neexistuje jednotný sběrný ani popisný systém. Každý výrobce prezentuje své výrobky odlišnou a opět vzájemně nekompatibilní formou. Zde je opět prostor pro navrhovaný databázový systém tuto mezeru zacelit.

V poslední kapitole této práce jsou již uvedeny a popsány vytvořené databázové systémy světelných zdrojů a svítidel. Báze znalostí těchto systémů je pro účely editace uživatelsky přístupná přes některé standardní tabulkové editory, například Microsoft Excel. Báze znalostí má předem definovanou strukturu pro ukládání dat a také nastavení možností vyhledávání a řazení parametrů do skupin. U každého v databázi uvedeného parametru je možné uvádět atribut platnosti – původu informace, který se skládá z atributu aktuálnosti, kde se uživatelsky zadává časový údaj získání nebo zveřejnění údaje výrobcem. Dále atributu věrohodnosti, jenž souvisí s charakterem použitého zdroje daného údaje. Pro účely vyhledávání, selekci a porovnání parametrů je vytvořeno uživatelské prostředí databázových systémů v programu Microsoft Visual Studio. Tato aplikace je vytvořena s pomocí kolegy – profesionálního programátora, vzhledem k dosavadním omezeným znalostem autora práce v oblasti programování.

6.1 Přínos práce

Disertabilní jádro práce s vědeckým a technickým přínosem spočívá v již jednou zmíněné komplexní struktuře od sběru parametrů svítidel a světelných zdrojů, přes jejich laboratorní ověřování, hledání souvislostí, vazeb a vnášení vlastních nápadů, až po realizace databázových systémů s obsáhlou bází znalostí světelných zdrojů a svítidel. Hlavní přínosy práce je možné shrnout do následujících bodů:

Komplexní popis a návod pro tvorbu databázového systému s rozšířeným vyhledáváním s možností pokládání expertních dotazů.

Velké množství laboratorně naměřených závislostí, náběhů a vzájemných relací provozních parametrů světelných zdrojů a svítidel.

Rozsáhlý přehled aktuálně používaných parametrů světelných zdrojů a svítidel.

Historický vývoj dosahovaných parametrů a konstrukčních řešení jednotlivých zástupců světelných zdrojů, včetně těch nejmodernějších variant.

Návrh a realizace databázového systému světelných zdrojů a svítidel.

Báze znalostí databázových systémů naplněná okolo 5 000 rozdílnými světelnými zdroji a svítidly.

Vytvořené databázové systémy je možné dále rozšiřovat dalšími prvky pro selektivní vyhledávání, statistická vyhodnocení, export dat a případně dalšími možnostmi využití. Své uplatnění prozatím naleznou v laboratoři světelné techniky FEKT VUT v Brně jako jednotný nástroj pro ukládání laboratorně naměřených hodnot svítidel a světelných zdrojů s možností rychlého porovnání s parametry udanými výrobcí. Kromě uplatnění jako vědecký nástroj je možné tyto systémy používat i pro účely výuky a do budoucna je online zpřístupnit jako nástroj pro sdílení informací mezi ostatními vědeckými institucemi, případně výrobcí a distributory.

POUŽITÁ LITERATURA

- [1] BAXANT, P. *Znalostně orientované technologie a jejich využití v osvětlovací technice*. Habilitační práce. Brno: Ústav elektroenergetiky FEKT VUT v Brně, 2007, 132 stran
- [2] ŠEDA, M. *Databázové systémy*. Elektronický učební text. VUT v Brně, 2002
- [3] DVOŘÁK, J. *Expertní systémy*. Elektronický učební text. VUT v Brně, 2004
- [4] BERKA, P. *Tvorba znalostních systémů*. Skripta. Praha, VŠE 1994
- [5] KRBAL, M. *Účinnost přeměny elektrické energie na světlo u současných světelných zdrojů*. Diplomová práce. Brno: Ústav elektroenergetiky FEKT VUT v Brně, 2010, 99 stran
- [6] HABEL, J., DVOŘÁČEK, K., DVOŘÁČEK, V., ŽÁK, P. *Světlo a osvětlování*. FCC Public, Praha 2013, ISBN 978-80-86534-21-3
- [7] BAXANT, P. *Světelná technika*, Elektronický text č. EEN608, Přednášky a cvičení. Brno: 2006. s. 1-82
- [8] BAXANT, P. *Osvětlovací soustavy*, Elektronický text, VUT v Brně, 2006
- [9] HOLOUBEK, J. *Světelná technika a osvětlování*, FCC Public 1995, ISBN 80-901985-0-3
- [10] DVOŘÁČEK, V. *Světelné zdroje – světelné diody (pokračování)*, Časopis Světlo 2011/2
- [11] HABEL, J., ŽÁK, P. *Vývojové tendence ve světelných zdrojích a svítidlech*. ČVUT Praha, ETNA s.r.o, Kurz osvětlovací techniky XXVIII
- [12] Příspěvatelé Wikipedie, *Infračervené záření* [Online], Wikipedie: Otevřená encyklopedie. Datum poslední revize: 15.4.2013. Dostupný z WWW: <http://cs.wikipedia.org/wiki/Infra%C4%8Derven%C3%A9_z%C3%A1%C5%99en%C3%AD>
- [13] Příspěvatelé Wikipedie, *Ultrafialové záření* [Online], Wikipedie: Otevřená encyklopedie. Datum poslední revize: 19.5.2013. Dostupný z WWW: <http://cs.wikipedia.org/wiki/Ultrafialov%C3%A9_z%C3%A1%C5%99en%C3%AD>
- [14] OSRAM. *Kompaktní zářivky*. Katalog výrobce OSRAM. Rok vydání 2011
- [15] PHILIPS. *Katalog světelných zdrojů*. Katalog výrobce PHILIPS. Rok vydání 2007
- [16] SIMČÍK, P., *CL-200A Kolorimetr; měřič barevné teploty*. ANAMET s.r.o. 2011
- [17] LumiDISP, *Software for Luminance Analyse*. [Online]. [cit. 2009-09-20]. Dostupné na WWW: <<http://www.lumidisp.eu>>
- [18] BAXANT, P., ŠKODA, J. *Digitální fotografie a její využití ve světelné technice*. Časopis Světlo 2010/2
- [19] KRBAL, M.; BAXANT, P. *The Electrodeless Fluorescent Lamps and Their Use for Lighting Plants*. In IV Lighting Conference of the Visegrad Countries LUMEN V4 2012. 1st edition. Bratislava, Slovensko: KONGRES management s.r. o, 2012.s. 322-327. ISBN: 978-80-89275-32- 8.
- [20] VLASÁK, M. *Světelné zdroje*. Skripta. Technická univerzita v Liberci. Ústav mechatroniky a technické informatiky. 2006
- [21] ELKOVO ČEPELÍK. *Elektronické předradníky*. ELKOVO 2014. Dostupné na WWW: <<http://www.elkovo-cepelik.cz/elektronicke-predradniky>>

- [22] STAŠA, M. *Nové energetické štítky pro světelné zdroje*. SEVEN 2014. Dostupné na WWW: < <http://www.svn.cz/cs/tema/nove-energeticke-stitky-pro-svetelne-zdroje>>
- [23] NEWPORT Corporation. *Quartz Tungsten Halogen Lamps*. NEWPORT 2014. Dostupné na WWW: < <https://www.newport.com/Quartz-Tungsten-Halogen-Lamps/378263/1033/info.aspx>>
- [24] THELIA. Lamp Guide. *Fluorescent Lamps*. Lighting Industry Association. 2012. Dostupné na WWW: < <http://www.thelia.org.uk/lighting-guides/lamp-guide/fluorescent-lamps/>>
- [25] FK Technics. *Víte co jsou LED stripy? – V. – trocha teorie*. Datum poslední revize: 4.4.2010. Dostupné na WWW: < http://www.fkt.cz/cz/clanky/teorie-a-praxe/art_136/vite-co-jsou-led-stripy-v-trocha-teorie.aspx>
- [26] KRBAL, M., BAXANT, P. *Statistické hodnocení vlastností světelných zdrojů*. Světlo, 2011, roč. 14, č. 1, s. 48-50. ISSN: 1212- 0812.
- [27] KRBAL, M., BAXANT, P. *Netradiční pohled na vlastnosti světelných zdrojů*. In Kurz osvětlovací techniky XXVIII. Ostrava: VŠB - Technická univerzita Ostrava, 2010. s. 73-77. ISBN: 978-80-248-2307- 2
- [28] Příspěvatelé Wikipedie, *Kontingenční tabulka* [Online], Wikipedie: Otevřená encyklopedie. Datum poslední revize: 16.5.2013. Dostupný z WWW: <http://cs.wikipedia.org/wiki/Kontingen%C4%8Dn%C3%AD_tabulka>
- [29] ŠKODA, J., KRBAL, M. *Osvětlování rostlin různými zdroji světla*. In Proceedings - 13th International Scientific Conference Electric Power Engineering 2012. 2012. s. 1193-1198. ISBN: 978-80-214-4514- 7
- [30] KRBAL, M., BAXANT, P. *Plazmové světelné zdroje pro osvětlování rostlin*. In Kurz osvětlovací techniky XXIX. Ostrava: VŠB - Technická univerzita Ostrava, 2012. s. 177-181. ISBN: 978-80-248-2833- 6
- [31] KRBAL, M., BAXANT, P., ŠKODA, J., SUMEC, S., PAVELKA, T., ISKANDIROVA, M. *Ekologická zátěž světelných zdrojů*. In Kurz osvětlovací techniky XXX. Ostrava: VŠB - Technická univerzita Ostrava, 2013. s. 235-238. ISBN: 978-80-248-3173- 2.
- [32] KRBAL, M., BAXANT, P., ŠKODA, J., SUMEC, S. *THE PROPAGATION OF ELECTROMAGNETIC RADIO WAVES DURING OPERATION MODERN LIGHT SOURCES*. In Zborník z 20. medzinárodnej konferencie SVETLO 2013 Proceedings of the 20th International Conference LIGHT 2013. první. Podbanské, Slovensko: KONGRES management s.r. o, 2013. s. 20-25. ISBN: 978-80-89275-35- 9
- [33] KRBAL, M., BAXANT, P., ŠKODA, J. *Influence of Position to Change Operational Parameters at Metal Halide Discharge Lamp*. In Proceedings of the 12th International Scientific Conference Electric Power Engineering 2011. 1. Ostrava, Czech Republic: VSB - Technical University of Ostrava, 2011. s. 1-4. ISBN: 978-80-248-2393- 5
- [34] KRBAL, M., BAXANT, P. *Influence of Temperature to Change Operational Parameters of Small Light Sources*. In Světlo 2011 - LIGHT 2011. Praha: 2011. s. 214-216. ISBN: 978-80-248-2480- 2.
- [35] BOETTICHER R., BOETTICHER W. *Numerical modelling of arc attachment to cathodes of high-intensity discharge lamps*
- [36] MADER U., HORN P., KNOBEL. *A Dynamic Model for the Electrical Characteristics of Fluorescent Lamps*, AG Lighting Components

- [37] Anthn C., Blanco C., Ferrero F., Roldkn P. *Simulation of the Dynamic Behaviour of HID Lamps Based On Electrical Conductance*. University of Oviedo
- [38] Kopinický J., *Electric Conductivity Model of Discharge Lamps*, Selfreport of the Ph.D. thesis
- [39] Příspěvatelé Wikipedie, *Arc Lamp* [Online], Wikipedie: Otevřená encyklopedie. Datum poslední revize: 16.11.2013. Dostupný z WWW: <http://en.wikipedia.org/wiki/Arc_lamp>
- [40] Příspěvatelé FCC Public. *Světlo z elektrického oblouku, 130 let od elektrické svíčky*. Dostupný z WWW: <http://www.odbornecasopisy.cz/index.php?id_document=34718>
- [41] Příspěvatelé Wikipedie, *Planck`s Law* [Online], Wikipedie: Otevřená encyklopedie. Datum poslední revize: 13.10.2013. Dostupný z WWW: <http://en.wikipedia.org/wiki/Planck%27s_law>
- [42] Příspěvatelé Wikipedie, *Radiance and Spectral Radiance* [Online], Wikipedie: Otevřená encyklopedie. Datum poslední revize: 5.9.2013. Dostupný z WWW: <<http://en.wikipedia.org/wiki/Radiance>>
- [43] DVOŘÁČEK, V. *Světelné zdroje – obyčejné žárovky*. Časopis Světlo 2008/4
- [44] WWW stránky Candela Corporation. *Lighting Terms*. Dostupný z WWW: <<http://www.candelacorp.com/products/lighting/>>
- [45] DVOŘÁČEK, V. *Světelné zdroje – halogenové žárovky*. Časopis Světlo 2008/5
- [46] WWW stránky International Light Technologies. *Tungsten Halogen Lamps – Part Numbers and Specification*. Dostupný z WWW: <<http://www.intl-lighttech.com/products/light-sources/lamps/tungsten-halogen>>
- [47] Příspěvatelé Wikipedie, *Noble Gas* [Online], Wikipedie: Otevřená encyklopedie. Datum poslední revize: 7.8.2013. Dostupný z WWW: <http://en.wikipedia.org/wiki/Noble_gas>
- [48] Příspěvatelé Wikipedie, *Gas-discharge Lamps* [Online], Wikipedie: Otevřená encyklopedie. Datum poslední revize: 17.8.2013. Dostupný z WWW: <http://en.wikipedia.org/wiki/Discharge_lamp>
- [49] GOEBEL, N., HELD, C., KONRAD, A. *Luminophore Composition for Low Pressure Discharge Lamps*. Patent. OSRAM AG
- [50] DVOŘÁČEK, V. *Světelné zdroje – nízkotlaké sodíkové výbojky*. Časopis Světlo 2009/6
- [51] Příspěvatelé Wikipedie, *Neon Sign* [Online], Wikipedie: Otevřená encyklopedie. Datum poslední revize: 30.11.2013. Dostupný z WWW: <http://en.wikipedia.org/wiki/Neon_tube>
- [52] Příspěvatelé Wikipedie, *Doutnavka* [Online], Wikipedie: Otevřená encyklopedie. Datum poslední revize: 11.9.2013. Dostupný z WWW: <<http://cs.wikipedia.org/wiki/Doutnavka>>
- [53] Příspěvatelé Wikipedie, *Neon Lamp* [Online], Wikipedie: Otevřená encyklopedie. Datum poslední revize: 10.11.2013. Dostupný z WWW: <http://en.wikipedia.org/wiki/Neon_lamp>
- [54] WWW stránky KVT Bazar, *Elektronika. Ukázka sortimentu*. Obrázky světelných zdrojů. Dostupný z WWW: <<http://www.kvt-elektronika.cz/elektrosoucastky.htm>>
- [55] WWW stránky EARCH.CZ. *Světelné zdroje – lineární zářivky*. Datum poslední revize: 20.3.2008. Dostupný z WWW: <<http://www.earch.cz/cs/svetelne-zdroje-linearni-zarivky>>

- [56] Přispěvatelé Wikipedie, *Zářivky* [Online], Wikipedie: Otevřená encyklopedie. Datum poslední revize: 3.10.2013. Dostupný z WWW: <<http://cs.wikipedia.org/wiki/Z%C3%A1%C5%99ivky>>
- [57] DVOŘÁČEK, V. *Světelné zdroje – kompaktní zářivky*. Časopis Světlo 2008/3
- [58] DVOŘÁČEK, V. *Světelné zdroje – indukční výbojky*. Časopis Světlo 2009/4
- [59] DVOŘÁČEK, V. *Světelné zdroje – vysokotlaké rtuťové výbojky, směšové výbojky*. Časopis Světlo 2008/6
- [60] WWW stránky UMOP.NET. *Visible Spektra of the Elements*. Dostupný z WWW: <<http://www.umop.net/spctelem.htm>>
- [61] DVOŘÁČEK, V. *Světelné zdroje – halogenidové výbojky část 1*. Časopis Světlo 2009/1
- [62] DVOŘÁČEK, V. *Světelné zdroje – halogenidové výbojky část 2*. Časopis Světlo 2009/2
- [63] DVOŘÁČEK, V. *Světelné zdroje – vysokotlaké sodíkové výbojky*. Časopis Světlo 2009/3
- [64] Datasheet produktu LIFI-ENT-31-02-R, výrobce Luxim
- [65] WWW stránky XCARDING. *HID Xenon Kit 9004 880 H11 6000K H10 H1 HB2 8000K*. Dostupný z WWW: <<http://www.xcardiag.com/>>
- [66] WWW Stránky DECADECOUNTER. *Solid State Indicators*. The Vintage Technology Association. Dostupný z WWW: <<http://www.decadecounter.com/vta/tubepage.php?item=39>>
- [67] Přispěvatelé Wikipedie, *Light-emmiting Diode* [Online], Wikipedie: Otevřená encyklopedie. Datum poslední revize: 15.10.2013. Dostupný z WWW: <http://en.wikipedia.org/wiki/Light-emitting_diode>
- [68] WWW stránky HABRAHABR. *Взгляд изнутри: светодиодные лампочки*. Datum poslední revize: 26.10.2011. Dostupný z WWW: <<http://habrahabr.ru/post/131216/>>
- [69] DVOŘÁČEK, V. *Světelné zdroje – světelné diody*. Časopis Světlo 2009/5
- [70] WWW Stránky EDGE Project Server. *LED Specifications*. Dostupný z WWW: <<http://edge.rit.edu/content/P11543/public/LED%20Specifications>>
- [71] Přispěvatelé Wikipedie, *Laserová dioda* [Online], Wikipedie: Otevřená encyklopedie. Datum poslední revize: 28.11.2013. Dostupný z WWW: <http://cs.wikipedia.org/wiki/Laserov%C3%A1_dioda>
- [72] Přispěvatelé Wikipedie, *Laser Diode* [Online], Wikipedie: Otevřená encyklopedie. Datum poslední revize: 1.12.2013. Dostupný z WWW: <http://en.wikipedia.org/wiki/Laser_diode>
- [73] Přispěvatelé Wikipedie, *OLED* [Online], Wikipedie: Otevřená encyklopedie. Datum poslední revize: 20.11.2013. Dostupný z WWW: <<http://cs.wikipedia.org/wiki/OLED>>
- [74] Přispěvatelé Wikipedie, *Electroluminescent Display* [Online], Wikipedie: Otevřená encyklopedie. Datum poslední revize: 6.3.2013. Dostupný z WWW: <http://en.wikipedia.org/wiki/Electroluminescent_display>
- [75] GRUBER, V. *Recyklace luminoforů z použitých elektrotechnických zařízení*. Ústav chemických procesů AV ČR. Odpadové fórum. Dostupný z WWW: <<http://www.odpadoveforum.cz/OF2011/dokumenty/prispevky/040.pdf>>
- [76] Přispěvatelé Wikipedie, *Cathode Ray Tube* [Online], Wikipedie: Otevřená encyklopedie. Datum poslední revize: 13.11.2013. Dostupný z WWW: <http://en.wikipedia.org/wiki/Cathode_ray_tube>

- [77] Příspěvatelé Wikipedie, *Vacuum Fluorescent Display* [Online], Wikipedie: Otevřená encyklopedie. Datum poslední revize: 16.9.2013. Dostupný z WWW: <http://en.wikipedia.org/wiki/Vacuum_fluorescent_display>
- [78] WWW stránky AUTODESK. *Standardní formát souborů IES*. AutoCAD nápověda. Dostupný z WWW: <<http://docs.autodesk.com/ACD/2013/CSY/index.html?url=files/GUID-45CAAF1C-7C9D-49A7-B18D-00CA5E2ED380.htm,topicNumber=d30e154115>>
- [79] WWW stránky HELIOS32. *EULUMDAT File Format Specification*. Dostupný z WWW: <<http://www.helios32.com/Eulumdat.htm>>
- [80] WWW stránky FOLD1. *EULUMDAT Tools*. Dostupný z WWW: <<http://www.fold1.com/eulumdattools/>>
- [81] RANSEN, O. *Converting IESNA .IES files to Eulumdat .LTD files*. Dostupný z WWW: <<http://www.ransen.com/>>
- [82] Příspěvatelé Wikipedie, *Extensible Markup Language* [Online], Wikipedie: Otevřená encyklopedie. Datum poslední revize: 18.11.2013. Dostupný z WWW: <http://cs.wikipedia.org/wiki/Extensible_Markup_Language>
- [83] Příspěvatelé Wikipedie, *CSV* [Online], Wikipedie: Otevřená encyklopedie. Datum poslední revize: 7.4.2013. Dostupný z WWW: <<http://cs.wikipedia.org/wiki/CSV>>
- [84] Příspěvatelé Wikipedie, *Microsoft Visual Studio* [Online], Wikipedie: Otevřená encyklopedie. Datum poslední revize: 13.12.2013. Dostupný z WWW: <http://cs.wikipedia.org/wiki/Visual_Studio>
- [85] WWW stránky CREE, News and Events, *Cree Sets New R&D Performance Record with 276 Lumen-Per-Watt Power LED*. Dostupné z WWW: <<http://www.cree.com/news-and-events/cree-news/press-releases/2013/february/276-lpw>>
- [86] CIE Centenary Conference 2013, *Abstract Booklet*, Paříž, CNAM, 2013. Dostupné z WWW: <http://paris2013.cie.co.at/sites/default/files/AbstractBookletParis2013_digital.pdf>

SEZNAM VLASTNÍCH ZDROJŮ

- [1] KRBAL, M. *Účinnost přeměny elektrické energie na světlo u současných světelných zdrojů*. Diplomová práce. Brno: Ústav elektroenergetiky FEKT VUT v Brně, 2010, 99 stran
- [2] KRBAL, M.; BAXANT, P. *The Electrodeless Fluorescent Lamps and Their Use for Lighting Plants*. In IV Lighting Conference of the Visegrad Countries LUMEN V4 2012. 1st edition. Bratislava, Slovensko: KONGRES management s.r. o, 2012.s. 322-327. ISBN: 978-80-89275-32- 8.
- [3] KRBAL, M., BAXANT, P. *Statistické hodnocení vlastností světelných zdrojů*. Světlo, 2011, roč. 14, č. 1, s. 48-50. ISSN: 1212- 0812.
- [4] KRBAL, M., BAXANT, P. *Netradiční pohled na vlastnosti světelných zdrojů*. In Kurz osvětlovací techniky XXVIII. Ostrava: VŠB - Technická univerzita Ostrava, 2010. s. 73-77. ISBN: 978-80-248-2307- 2
- [5] KRBAL, M., BAXANT, P. *Plazmové světelné zdroje pro osvětlování rostlin*. In Kurz osvětlovací techniky XXIX. Ostrava: VŠB - Technická univerzita Ostrava, 2012. s. 177-181. ISBN: 978-80-248-2833- 6
- [6] KRBAL, M., BAXANT, P., ŠKODA, J., SUMEC, S., PAVELKA, T., ISKANDIROVA, M. *Ekologická zátěž světelných zdrojů*. In Kurz osvětlovací techniky XXX. Ostrava: VŠB - Technická univerzita Ostrava, 2013. s. 235-238. ISBN: 978-80-248-3173- 2.
- [7] KRBAL, M., BAXANT, P., ŠKODA, J., SUMEC, S. *THE PROPAGATION OF ELECTROMAGNETIC RADIO WAVES DURING OPERATION MODERN LIGHT SOURCES*. In Zborník z 20. medzinárodnej konferencie SVETLO 2013 Proceedings of the 20th International Conference LIGHT 2013. první. Podbanské, Slovensko: KONGRES management s.r. o, 2013. s. 20-25. ISBN: 978-80-89275-35- 9
- [8] KRBAL, M., BAXANT, P., ŠKODA, J. *Influence of Position to Change Operational Parameters at Metal Halide Discharge Lamp*. In Proceedings of the 12th International Scientific Conference Electric Power Engineering 2011. 1. Ostrava, Czech Republic: VSB - Technical University of Ostrava, 2011. s. 1-4. ISBN: 978-80-248-2393- 5
- [9] KRBAL, M., BAXANT, P. *Influence of Temperature to Change Operational Parameters of Small Light Sources*. In Světlo 2011 - LIGHT 2011. Praha: 2011. s. 214-216. ISBN: 978-80-248-2480- 2.

