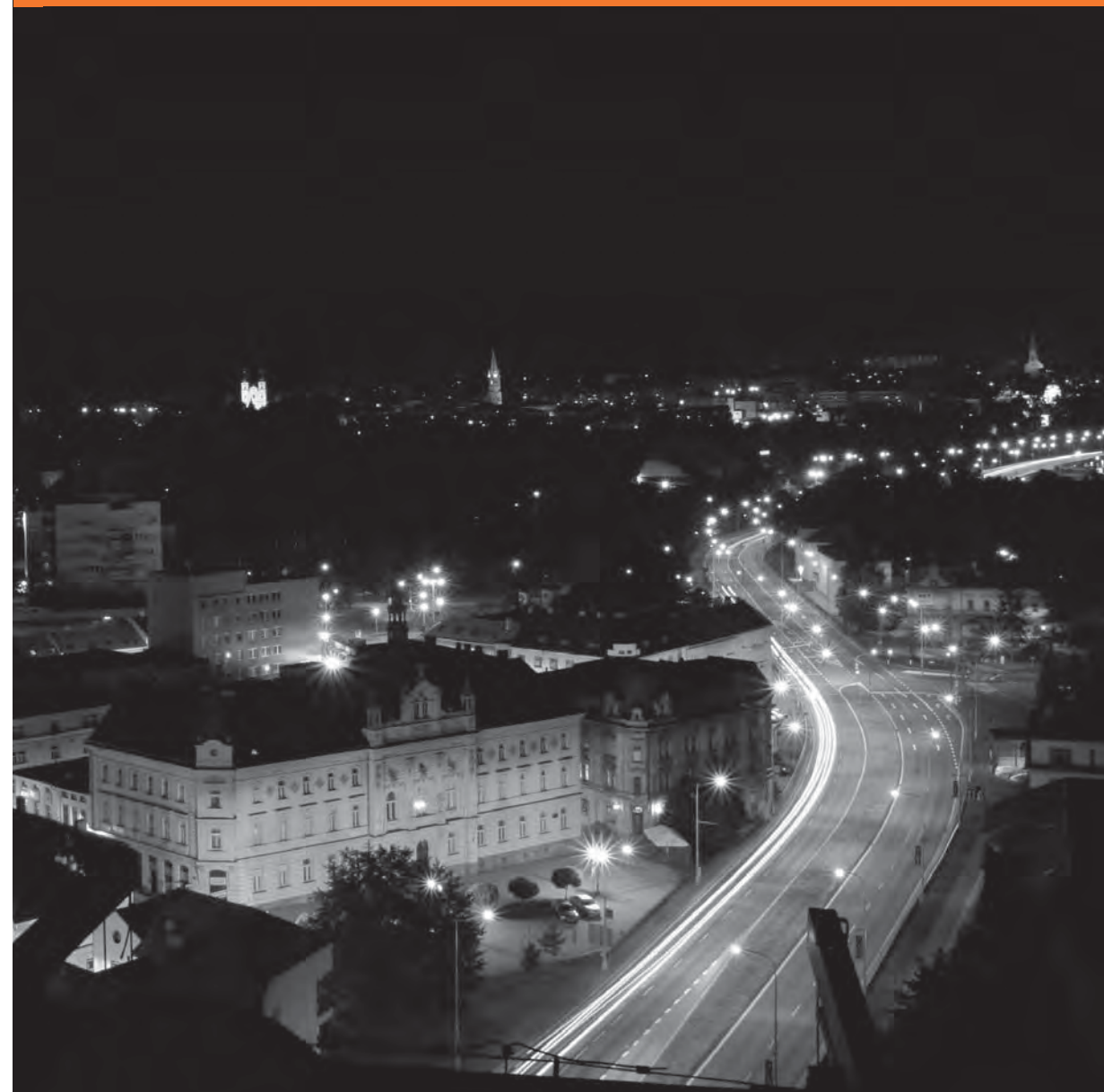


Světelná technika

Karel Sokanský | Tomáš Novák | Marek Bálský | Zdeněk Bláha | Zbyněk Carbol |
Daniel Diviš | Blahoslav Socha | Jaroslav Šnobl | Jan Šumpich | Petr Závada



Světelná technika

Karel Sokanský

Tomáš Novák

Marek Bálský

Zdeněk Bláha

Zbyněk Carbol

Daniel Diviš

Blahoslav Socha

Jaroslav Šnobl

Jan Šumpich

Petr Závada



České vysoké učení technické v Praze

Praha 2011

Publikace byla zpracována za finanční podpory Státního programu na podporu úspor energie a využití obnovitelných zdrojů energie pro rok 2011 – část A – Program EFEKT.



MINISTERSTVO
PRŮMYSLU A OBCHODU



Recenzenti:

doc. Ing. Jiří Plch, CSc.

doc. Ing. Dionýz Gašparovský, PhD.

© Karel Sokanský, Tomáš Novák, Marek Bálský, Zdeněk Bláha,
Zbyněk Carbol, Daniel Diviš, Blahoslav Socha, Jaroslav Šnobl,
Jan Šumpich, Petr Závada, 2011

ISBN 978-80-01-04941-9

Vážení čtenáři,

čas, kdy tato publikace vznikla, je ve znamení pokračujících dynamických změn v energetice. Energetika jako celek, nejen výroba, přenos a distribuce elektřiny, na které se zaměřuje tato edice odborných publikací, je ovlivňována zásadními událostmi. Plně se otevřel trh s elektřinou a plynem, stále narůstá podíl obnovitelných zdrojů na výrobě elektřiny, mění se a vyhraňují postoje k jaderné energetice. V rámci Evropy se stále více diskutuje o využití primárních zdrojů i paliv, rostou nároky na přenosovou soustavu.

Celý rozvoj energetického odvětví by však nebyl možný bez dostatku kvalitních lidských zdrojů. Proto považuji za akutní problém zajištění dostatečného počtu odborníků pro budoucí činnost v této náročné technické oblasti. Předpokladem pro přípravu kvalitních odborníků jsou kvalitní odborné základy a já věřím, že právě tato publikace je dokáže poskytnout.

Celá edice odborných publikací je svým způsobem výjimečná, neboť po delší době opět věnuje pozornost jednotlivým oblastem elektroenergetiky a velmi kvalitně standardizuje poznatky z tohoto náročného oboru. Je jisté, že tato edice může přispět k větší konsolidaci a spolupráci v oboru technického vzdělávání, vědy a výzkumu, aby se opět zvýšila prestiž technických oborů. Ministerstvo průmyslu a obchodu, které významně podpořilo vznik této ediční řady, chce tímto způsobem přispět k zajištění konkurenceschopnosti hospodářství na území České republiky, které bylo vždy založeno na kvalitní technické produkci.

Řada publikací vznikla ve spolupráci kolektivů autorů technických vysokých škol České republiky. Rád bych závěrem poděkoval autorům za jejich profesionální přístup při přípravě publikace a také mým kolegům z ministerstva za zajištění realizace projektu. Všem uživatelům přeji, aby jim publikace napomohla při jejich vzdělávání a práci a stala se nedílnou součástí knihovny, ke které se budou pravidelně vracet.

Ing. Roman Portužák, CSc.

ředitel odboru elektroenergetiky

Ministerstvo průmyslu a obchodu České republiky



Obsah

1.	Úvod.....	11
2.	Teoretické základy světelné techniky	12
2.1.	Světelné záření	12
2.2.	Základní světelně technické veličiny a pojmy	13
2.2.1.	Přehled pojmů a veličin	13
2.2.2.	Shrnutí základních výpočetních vztahů.....	24
2.2.3.	Světelnotechnické vlastnosti látek	26
2.3.	Integrální charakteristiky světelného pole	32
2.4.	Barevné vlastnosti světelných zdrojů a předmětů.....	36
2.5.	Literatura ke kapitole	43
3.	Zrakový systém, zrakové mechanismy.....	44
3.1.	Popis zrakového systému	44
3.2.	Stavba oka	44
3.3.	Činnost oka	46
3.4.	Akomodace a adaptace oka.....	47
3.5.	Fotopické vidění	50
3.6.	Skotopické vidění	50
3.7.	Mezopické vidění.....	50
3.8.	Spektrální citlivost oka.....	51
3.9.	Literatura ke kapitole	53
4.	Parametry a vlastnosti světelných zdrojů a svítidel.....	54
4.1.	Světelné zdroje.....	54
4.1.1.	Základní parametry světelných zdrojů	54
4.1.2.	Třídění světelných zdrojů	57
4.2.	Svítidla.....	66
4.2.1.	Druhy a třídění svítidel	66
4.3.	Skladba svítidel	71
4.3.1.	Světelně činné části (optika)	71
4.3.2.	Elektrotechnické části.....	72
4.3.3.	Konstrukční části svítidel.....	74
4.4.	Literatura ke kapitole	75
5.	Denní světlo	76
5.1.	Základní pojmy.....	76
5.2.	Osvětlovací systémy	87
5.3.	Výpočty denního osvětlení	92
5.4.	Sdružené osvětlení.....	93
5.5.	Oslunění budov	97
5.6.	Literatura ke kapitole	98

6.	Osvětlování vnitřních prostorů.....	100
6.1.	Osvětlování vnitřních pracovních prostor.....	107
6.2.	Osvětlení obytných prostor	109
6.3.	Nouzové osvětlení.....	113
6.4.	Literatura ke kapitole	118
7.	Veřejné osvětlení.....	119
7.1.	Základní požadavky	119
7.1.1.	Funkce, význam a cíle veřejného osvětlení	119
7.1.2.	Technické možnosti provozu VO	120
7.1.3.	Údržba osvětlovacích soustav VO	123
7.1.4.	Provozní změny osvětlovací soustavy	125
7.1.5.	Generel VO a pasportizace VO.....	127
7.2.	Osvětlování komunikací	128
7.2.1.	Normy pro VO	128
7.2.2.	Požadavky	128
7.2.3.	Třídy osvětlení komunikací dle ČSN EN 13201-2.....	129
7.2.4.	Práce se souborem norem a postup stanovení tříd osvětlení [2]	131
7.2.5.	Příklad zatřídění - skupina komunikací – zatřídění ME5 [2]	132
7.2.6.	Stmívání a systémy regulace VO.....	133
7.2.7.	Dohledový systém	137
7.3.	Literatura ke kapitole	138
8.	Venkovní osvětlení.....	139
8.1.	Základní požadavky	139
8.1.1.	Rozložení jasu.....	139
8.1.2.	Osvětlenost	139
8.1.3.	Oslnění	140
8.1.4.	Směřované osvětlení	141
8.1.5.	Modelace	142
8.1.6.	Hlediska barev.....	142
8.1.7.	Osvětlenost okolí zrakového úhlu	142
8.2.	Venkovní pracovní prostory	142
8.2.1.	Přehled prostorů, úkolů a činností	143
8.3.	Osvětlování reklam	144
8.3.1.	Rozdělení reklamních ploch z hlediska osvětlování	144
8.3.2.	Osvětlení reklamních ploch.....	146
8.3.3.	Základní kritéria návrhu světelné reklamy	147
8.4.	Architektonické osvětlení	148
8.4.1.	Analytická část	149
8.4.2.	Koncepční část.....	149
8.4.3.	Prvky osvětlovací soustavy	151
8.5.	Osvětlování sportovišť	153
8.5.1.	ČSN EN 12193 Světlo a osvětlení - osvětlování sportovišť.....	153
8.5.2.	Srovnávací síť bodů pro výpočet a měření	153
8.5.3.	Rozmístění výpočetních bodů pro víceúčelová sportoviště	153
8.5.4.	Udržovací činitel	154
8.5.5.	Bezpečnostní osvětlení	158

8.5.6.	Omezení oslnění	158
8.5.7.	Všeobecné požadavky na osvětlení sportovišť	159
8.5.8.	Zvláštní požadavky pro barevnou televizi	159
8.5.9.	Tabulky požadavků na jednotlivé druhy sportů	160
8.6.	Rušivé světlo	160
8.6.1.	Normativní požadavky na rušivé světlo	163
8.6.2.	Environmentální zóny	164
8.6.3.	Zdroje rušivého světla	165
8.6.4.	Doporučení pro omezení rušivého světla	167
8.7.	Literatura ke kapitole	169
9.	Měření světelnotechnických veličin	170
9.1.	Světelné normály	170
9.2.	Typy měření	172
9.2.1.	Luxmetry	172
9.2.2.	Jasoměry a jasové analyzátory	173
9.2.3.	Spektrofotometry	174
9.3.	Chyby a nejistoty měření	174
9.4.	Provozní měření	178
9.4.1.	Měření denního osvětlení	178
9.4.2.	Měření jasů	180
9.4.3.	Měření umělého osvětlení	181
9.4.4.	Laboratorní měření	183
9.4.5.	Měření na komunikacích	184
9.5.	Literatura ke kapitole	189
10.	Výpočtové metody vnitřního a venkovního osvětlení	190
10.1.	Bodové metody	191
10.1.1.	Aplikace ve vnitřním osvětlení	191
10.1.2.	Aplikace ve venkovním osvětlení	191
10.2.	Tokové metody	192
10.2.1.	Aplikace ve vnitřním osvětlení	192
10.2.2.	Aplikace ve venkovním osvětlení	193
10.3.	Vybrané výpočetní programy	195
10.3.1.	Nejčastěji používané výpočetní programy	196
10.4.	Literatura ke kapitole	199
11.	Řízení provozu osvětlovacích soustav	200
11.1.	Předřadné přístroje	200
11.1.1.	Předřadníky pro žárovky	200
11.1.2.	Předřadníky pro halogenové žárovky	200
11.1.3.	Předřadníky pro vysokotlaké výbojky	203
11.1.4.	Předřadníky pro světelné diody	204
11.2.	Možnosti stmívání světelných zdrojů	204
11.2.1.	Stmívání halogenových žárovek na malé napětí	205
11.2.2.	Stmívání zářivek s konvenčním předřadníkem	206
11.2.3.	Zářivky s nestmívatelným elektronickým předřadníkem	206
11.2.4.	Stmívání klasických žárovek	206
11.2.5.	Stmívání zářivek se stmívatelným elektronickým předřadníkem	207

11.2.6.	Stmívání vysokotlakých výbojek	207
11.2.7.	Světelné diody.....	207
11.3.	Řídicí a kontrolní systémy	208
11.3.1.	Analogové řízení	208
11.3.2.	Digitální řízení	209
11.4.	Inteligentní osvětlovací soustavy	212
11.4.1.	Inteligentní systém pro vnitřní řízení KNX.....	212
11.5.	Literatura ke kapitole.....	215
12.	Ekonomika provozu osvětlovacích soustav	216
12.1.	Veřejné osvětlení	216
12.1.1.	Provoz osvětlovacích soustav.....	216
12.1.2.	Investiční a provozní náklady.....	216
12.1.3.	Údržba osvětlovacích soustav	217
12.1.4.	Energetické požadavky	217
12.1.5.	Technicko-ekonomické ukazatelé.....	218
12.2.	Vnitřní osvětlení	219
12.2.1.	Provoz a údržba osvětlovacích soustav.....	219
12.2.2.	Investiční a provozní náklady.....	223
12.2.3.	Technicko-ekonomické ukazatele.....	226
12.2.4.	Energetické požadavky - výpočet energie pro osvětlení	227
12.2.5.	Protokol průkazu energetické náročnosti budovy	229
12.3.	Literatura ke kapitole.....	230
13.	Využití účinků optického záření.....	231
13.1.	Fotobiologické účinky záření.....	231
13.1.1.	Cirkadiánní rytmy	231
13.1.2.	Světlo a cirkadiánní cyklus.....	233
13.1.3.	Desynchronismus biologických hodin	233
13.2.	Účinky záření na lidský organismus.....	235
13.2.1.	Nepříznivé účinky ultrafialového záření	236
13.2.2.	Nepříznivé účinky viditelného záření	236
13.2.3.	Nepříznivé účinky infračerveného záření.....	237
13.2.4.	Léčba světlem	237
13.3.	Osvětlování rostlin.....	238
13.4.	Ekologické aspekty osvětlování	239
13.5.	Využití optického záření v energetice	240
13.5.1.	Sluneční záření	240
13.5.2.	Solární systémy.....	243
13.5.3.	Fotovoltaické systémy.....	244
13.5.4.	Fotovoltaicko-termické články s koncentrátory slunečního záření.....	249
13.6.	Literatura ke kapitole.....	252
14.	Právní požadavky na osvětlení a české technické normy	253
14.1.	Literatura ke kapitole.....	255

Základní použité symboly a zkratky

Symboly	Význam
λ	Vlnová délka
Φ	Světelný tok
K	Účinnost světelného záření
V	Poměrná účinnost světelného záření
I	Svítivost
E	Intenzita osvětlení, osvětlenost
L	Jas
Ω	Prostorový úhel
M	Světlení
α	Pohltivost
ρ	Odráživost
τ	Propustnost
n	Index lomu
E_0	Prostorová osvětlenost
E_C	Střední válcová osvětlenost
T_C	Teplota chromatičnosti (náhradní teplota chromatičnosti)
R_a	Index podání barev
η	Měrný výkon
η_{SV}	Účinnost svítidla
D	Činitel denní osvětlenosti
E_m	Udržovaná osvětlenost
UGR, GR	Indexy oslnění
Zkratky	Význam
VO	Veřejné osvětlení
CIE	Mezinárodní komise pro osvětlování
RVO	Rozvaděč veřejného osvětlení
KPI	Klíčové ukazatele výkonnosti procesů

Ostatní symboly a zkratky se vyskytují v textu s jejich okamžitým vysvětlením.

1. Úvod

Světelná technika, stejně tak jako energetika a elektrotechnika, prochází ohromným boomem nových technologií. Podíváme-li se na tento vývoj podrobněji, tak zjistíme, že je velice úzce spjatý s vývojem elektroniky a informačních technologií. S tímto faktem se musel vypořádat i kolektiv autorů, který se pokusil na základě fyzikálních zákonitostí ukázat nejen současné možnosti světelné techniky, ale také naznačit možný směr jejího vývoje.

Zvyšující se požadavky na světelnou techniku jdou ruku v ruce se zvyšujícími se požadavky na kvalitu, efektivnost i množství vykonávané práce. Nároky na úroveň osvětlení stoupají i v oblasti požadavků na pracovní a životní prostředí. Výrazným způsobem se také zvětšuje rozsah a doba využití prostorů s umělým osvětlením. Proti těmto trendům ale jdou tlaky na snižování energetické náročnosti při osvětlování vnitřních, ale také venkovních prostorů, u kterých je doba svícení nepoměrně delší.

Ke splnění výše uvedených nároků je třeba zvyšovat a vylepšovat základní parametry světelných zdrojů, což jsou měrný výkon, doba života, index podání barev, atd. U svítidel je to zejména zvyšování účinnosti a zpřesnění distribuce světelného toku, tam kde je to třeba. Nesmíme zapomenout ani na osvětlovací soustavy, které umožní řízení světelného toku (stmívání) nejen podle požadavků na zrakový výkon, ale také podle výskytu denního světla a osob.

Dalo by se konstatovat, že boom nastává nejen ve vývoji světelných technologií, ale ruku v ruce s ním jde i boom ve světelnětechnické normalizaci. Například většina z nás si už jistě uvědomila, že vlivem těchto změn mizí z pultů obchodů světelné zdroje, jejichž měrný výkon již neodpovídá současným nárokům a jejich používání se de-facto rovná plýtvání.

Ze všech výše popsaných skutečností vyplývá jednoznačný tlak na úspory elektrické energie při provozu osvětlovacích soustav.

Nesmíme ale nikdy zapomenout na to, že požadavky na úspory nesmí mít vyšší prioritu než požadavky na světlo samotné. To znamená, že osvětlovací soustavu by měl navrhovat odborník, který je schopen splnit kvalitativní požadavky na osvětlovací soustavy a zároveň použít takové prvky, které zajistí nízkou spotřebu elektrické energie při akceptovatelné ceně.

Rád bych poděkoval recenzentům, doc. Ing. Jiřímu Plchovi, CSc. a doc. Ing. Dionýzovi Gašparovskému, PhD. za cenné připomínky a podněty ke zpracování předkládané knihy.

prof. Ing. Karel Sokanský, CSc.

2. Teoretické základy světelné techniky

2.1. Světelné záření

Světlo je elektromagnetické záření, které je schopno prostřednictvím zrakového orgánu vybudit zrakový vjem. Záření lze charakterizovat frekvencí nebo vlnovou délkou. Vlnové délky viditelného záření se nacházejí v rozmezí $\lambda = 380 \div 780$ nm. Viditelné záření je část optického záření, které v kratších vlnových délkách navazuje na ultrafialové záření a na straně delších vlnových délek přechází v infračervené záření.

Ke vzniku světla v současných elektrických světelných zdrojích dochází na těchto čtyřech základních principech:[1]

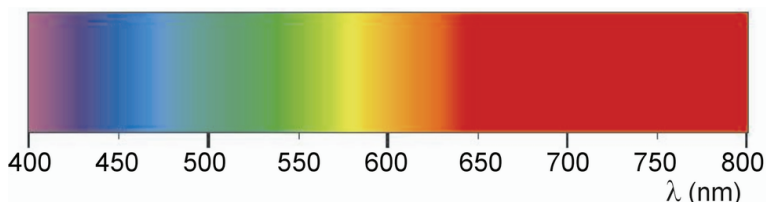
- inkandescencí neboli tepelným buzením vznikajícím při zahřátí pevné látky na vysokou teplotu,
- vybuzením atomu v elektrickém výboji,
- luminiscencí pevných látek (fotoluminiscence, elektroluminiscence, bioluminiscence),
- emisí fotonu při průchodu proudu polovodičem.

Typickým představitelem prvního typu elektrických světelných zdrojů jsou obyčejné a halogenové žárovky. Dodávanou energií je energie tepelná, která vzniká průchodem elektrického proudu wolframovým vláknem. Druhý typ představují všechny nízkotlaké a vysokotlaké výbojové zdroje (zářivky, rtuťové, sodíkové, halogenidové a nové typy výbojek). Světlo zde vzniká při nepružných srážkách atomů, iontů a elektronů ve sloupci výboje, který se nachází v elektrickém poli. Třetí typ vzniku světla je založen na principu přeměny záření o kratší vlnové délce, například ultrafialového na viditelné záření o delší vlnové délce. Tento jev se jmenuje fotoluminiscence a nastává v chemických látkách, které jsou označovány jako luminofory, což je u výbojových zdrojů povlak nanesený na vnitřní povrch výbojové trubice, baňky. Zářivka bez luminoforu vyzařuje převážně na vlnové délce $\lambda = 253,7$ nm, obdobně u vysokotlakých Hg výbojek $\lambda = 365$ nm, je záření ultrafialové. Při použití luminoforu se ultrafialové záření transformuje do viditelné oblasti.

Poslední princip vzniku světla představují LED diody (světelné diody), i když i u těchto zdrojů lze využít k transformaci emitujícího UV záření luminoforů. [1]

Podstata světla

Světlo nezpůsobuje jen zrakový vjem, ale také barevný počitek. Barevné vlastnosti primárních světelných zdrojů se označují názvem chromatičnost nebo jsou popsány všeobecným indexem barevného podání R_a , barevné vlastnosti sekundárních světelných zdrojů se označují názvem kolorita. Záření každé vlnové délky viditelného světla budí barevný počitek. Každému barevnému počitku odpovídá určitá spektrální barva, kterou popisujeme barevným tónem. Složení viditelného světla je popsáno a znázorněno v tab. 2.1 a na obr. 2.1. [1]



Obr. 2.1: Rozložení barev ve spektrální oblasti viditelného záření

Vlnová délka λ (nm)	Barevný tón spektrální barvy
380 ÷ 420	Fialová
420 ÷ 440	Modrofialová
440 ÷ 460	Modrá
460 ÷ 510	Modrozelená
510 ÷ 560	Zelená
560 ÷ 590	Žlutá
590 ÷ 650	Oranžová
650 ÷ 780	Červená

Tab. 2.1: Barevné tóny viditelného světla

2.2. Základní světelně technické veličiny a pojmy

Pro popis světelného záření a jeho parametrů je, stejně jako v jiných vědních oborech, důležité používat fyzikální veličiny a jednotky, které jsou sjednocené tak, že platí všude na světě. U světla jsou tyto veličiny sjednoceny pod záštitou Mezinárodní komise pro osvětlování CIE. Také v mezinárodní soustavě jednotek SI se vyskytuje základní jednotka popisující vlastnosti světla. Jedná se o jednotku svítivosti, kandela (cd). Všechny veličiny a jednotky zavedené komisí CIE se vztahují na takzvaného normálního fotometrického pozorovatele. Tohoto pozorovatele reprezentují standardní vlastnosti lidského oka, protože každý člověk může mít odlišnou citlivost k různým vlnovým délkám světla.

2.2.1. Přehled pojmů a veličin

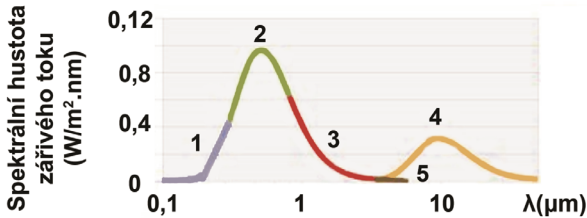
Světelný tok

Světelný tok Φ představuje zářivý tok Φ_e , který je posuzován ze strany citlivosti lidského oka. Říká nám, kolik světelné energie vyzáří zdroj do svého okolí. Jednotkou světelného toku je lumen (lm). Zářivý tok představuje velikost výkonu, které

záření přenáší, vysílá nebo přijímá. Pokud je záření spojité (není monochromatické), pak se zářivý tok určí ze vztahu (2.1).

$$\Phi_e = \int_0^{\infty} \Phi_{e\lambda}(\lambda) d\lambda = \int_0^{\infty} \frac{d\Phi_e(\lambda)}{d\lambda} d\lambda \cong \sum_{i=1}^n (\Phi_{e\lambda})_i \Delta\lambda_i \quad (2.1)$$

kde $\frac{d\Phi_e(\lambda)}{d\lambda}$ - spektrální hustota zářivého toku Φ_e .



Obr. 2.2: Závislost spektrální hustoty zářivého toku na vlnové délce

Legenda k obr. 2.2: (1) je sluneční ultrafialové záření, (2) sluneční viditelné záření, (3) sluneční infračervené krátkovlnné záření, (4) tepelné záření pozemských těles a (5) sluneční infračervené dlouhovlnné záření.

V případě, že se jedná o čárové spektrum záření, kdy známe jednotlivé hustoty zářivého toku monochromatických záření, je celkový zářivý tok dán jako suma všech těchto monochromatických toků.

$$\Phi_e = \sum_{i=1}^n \Phi_{ei}(\lambda_i) \quad (2.2)$$

kde Φ_e - celkový zářivý tok (W); Φ_{ei} - zářivý tok jednotlivých spektrálních čar záření (W).

Pro výpočet světelného toku je třeba znát poměrnou světelnou účinnost viditelného záření $V(\lambda)$, a ta je jednou z předdefinovaných funkcí CIE (pro denní vidění). Tu vypočteme ze vztahu:

$$V(\lambda) = \frac{K_{\Phi}(\lambda)}{K_m} = \frac{K(\lambda)}{683} \quad (2.3)$$

kde $V(\lambda)$ - účinnost monochromatického záření; $K_{\Phi}(\lambda)$ - světelná účinnost ($\text{lm}\cdot\text{W}^{-1}$); $K_m(\lambda)$ - maximální světelná účinnost ($\text{lm}\cdot\text{W}^{-1}$).

Stanovená hodnota K_m tohoto ekvivalentu představuje maximální míru zhodnocení zářivého toku 1 W normalizovaným pozorovatelem $K_m = 683 \text{ lm}\cdot\text{W}^{-1}$ a platí

pro vlnovou délku $\lambda = 555 \text{ nm}$. Tato hodnota odpovídá fotopickému vidění (denní vidění). Dále je už možno vypočítat světelný tok ze vztahu (2.4).

$$\Phi(\lambda) = K_{\Phi}(\lambda) \Phi_e(\lambda) = K_m V(\lambda) \Phi_e(\lambda) = 683 V(\lambda) \Phi_e(\lambda) \quad (2.4)$$

kde $\Phi(\lambda)$ - světelný tok dané vlnové délky λ (lm); $K_{\Phi}(\lambda)$ - světelná účinnost dané vlnové délky λ ($\text{lm}\cdot\text{W}^{-1}$); $\Phi_e(\lambda)$ - zářivý tok dané vlnové délky λ (W).

Pokud se jedná o záření složené z více monochromatických záření můžeme vypočítat světelný tok jednoduše tak, že celé spektrum rozdělíme na n úseků o šířce $\Delta\lambda$. Pro každý takovýto úsek určíme střední hodnotu zářivého toku Φ_e a hodnotu poměrné světelné účinnosti $V(\lambda)$. Světelný tok se nyní vypočítá jako suma všech úseků.

$$\Phi = K_m \sum_{i=1}^n \left(\frac{\Delta\Phi_e(\lambda_i)}{\Delta\lambda_i} \right) V(\lambda_i) \Delta\lambda_i \quad (2.5)$$

Známe-li průběh závislosti zářivého toku na vlnové délce $\Phi_e(\lambda)$ pak se světelný tok vypočítá následovně:

$$\Phi = 683 \int_0^{\infty} \left(\frac{d\Phi_e(\lambda)}{d\lambda} \right) V(\lambda) d\lambda \quad (2.6)$$

Z výše uvedených vztahů je patrné, že světelný tok představuje zářivý tok, který je zpracován pomocí lidského oka za podmínek fotopického vidění. Pro složené záření se dále stanovují hodnoty světelné účinnosti záření $K_{\Phi}(\lambda)$ a poměrné světelné účinnosti světelného záření složeného záření $V(\lambda)$. [3],[4]

Svítilivost

Svítilivost je světelně technická veličina, která popisuje distribuci světelného záření do prostoru. Udává kolik světelného toku vyzáří zdroj v prostorovém úhlu do určitého směru. Jednotkou svítilivosti je kandela (cd). Kandela patří mezi základní fyzikální jednotky soustavy SI. Od roku 1979 je kandela definována jako svítilivost zdroje, jenž vyzářuje pod určitým úhlem monochromatické záření s intenzitou $1/683 \text{ W}\cdot\text{sr}^{-1}$ a frekvenci $540\cdot 10^{12} \text{ Hz}$. Střední hodnota svítilivosti se pak určí ze světelného toku Φ vyzářujícím v jednotkovém prostorovém úhlu Ω .

$$I = \frac{d\Phi}{d\Omega} \quad (2.7)$$

kde I - svítilivost (cd); $d\Phi$ - světelný tok (lm); $d\Omega$ - prostorový úhel, do kterého je světelný tok vyzářován (sr).

Svítivost se určuje pro bodový zdroj, to znamená, že zdroj má zanedbatelné rozměry a vzhledem ke vzdálenosti bodu r , ke kterému se provádí kontrolní měření. Tato podmínka se vyjádří poměrem těchto rozměrů.

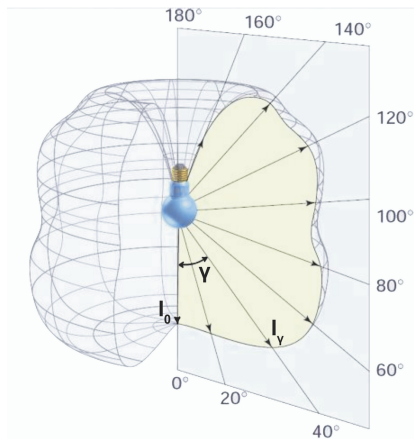
$$\frac{r}{a} > a \tag{2.8}$$

V praxi je tento poměr požadován větší než 5 tak, aby byl světelný zdroj chápán jako bodový.

Změřením svítivosti ve všech bodech prostoru okolo zdroje a vnesením hodnot vektorů dostaneme prostorové rozložení svítivosti zdroje. V praxi se však s prostorovým rozložením svítivosti dále nepracuje a používají se pouze různé typy řezu touto plochou (viz obr. 2.3). V těchto řezech (polorovinách) dostaneme křivky svítivosti, které se standardně vynášejí v polárních souřadnicích. Tyto pak charakterizují distribuci světelného toku. Vztažný směr je většinou shodný s normálou hlavní plochy svítivosti. Od této normály se pak počítají všechny úhly. Křivky svítivosti se určí ze vztahu (2.9).

$$I_{\gamma} = I_0 \cdot f_I(\gamma) \tag{2.9}$$

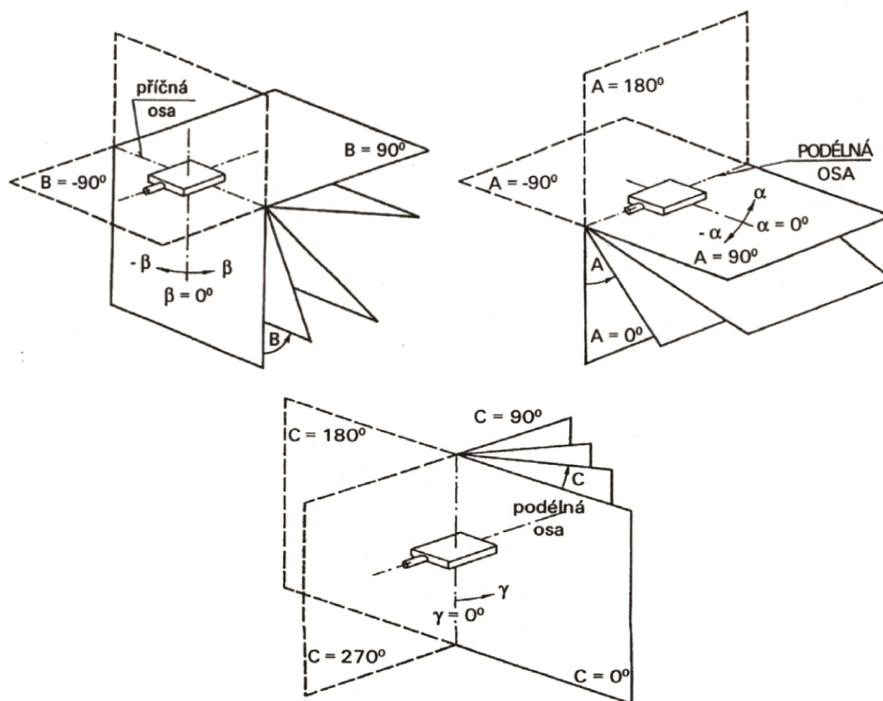
kde I_{γ} - svítivost vztažená k úhlu γ (cd); I_0 - vztažná svítivost (cd); $f_I(\gamma)$ - funkce charakterizující křivku svítivosti v konkrétním řezu.



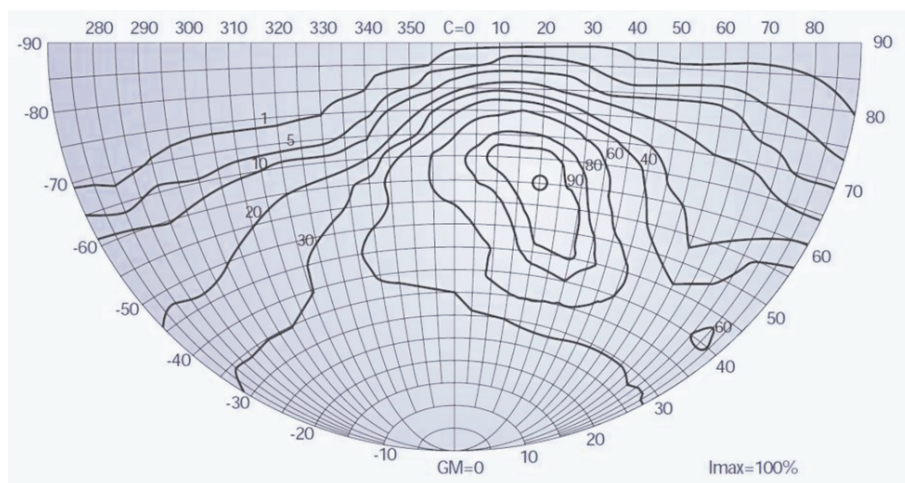
Obr. 2.3: Vyobrazení příkladu celého fotometrického prostoru a řezu s vyznačenou křivkou svítivosti [2]

Jak již bylo výše zmíněno, v praxi se křivky svítivosti označují v určitých systémech řezů fotometrickou plochou, které se udávají v určitých polorovinách. Tyto poloroviny procházejí optickým středem zdroje světla. Na obr. 2.4 jsou vyobrazeny systémy polorovin, které jsou doporučeny Mezinárodní komisí pro osvětlování CIE. Nejčastěji se používá systém řezů C- γ , jejichž osa je kolmá k hlavní vyzařovací ploše svítidla. Dalšími používanými jsou systémy polorovin A- α , jejichž osa je shodná s podélnou osou svítidla a B- β s příčnou osou svítidla (viz obr. 2.4).

Křivky svítivosti svítidel se v katalogích udávají přepočtené na světelný tok 1 000 lm z důvodu nezávislosti na skutečném světelném toku světelného zdroje tak, aby bylo možné využít více typů světelných zdrojů použitých ve svítidle. [3],[5]



Obr. 2.4: Systém řezu polorovin A- α , B- β , C- γ [3]

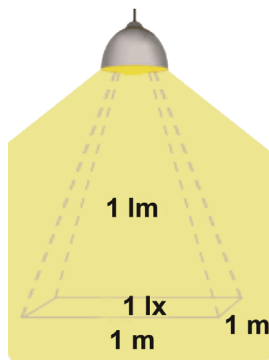


Obr. 2.5: Izokandelový diagram zdroje v sinusoidálním zobrazení [2]

Prostorové rozložení svítivosti lze také znázornit na povrchu jednotkové koule. Na tuto kouli jsou vyneseny body s danou velikostí svítivosti a směrem. Poloha jednotlivých bodů se pak popisuje pomocí rovnoběžek a poledníků. Hodnoty se stejnou svítivostí se spojí křivkou (izokandelou). Sestrojení tohoto diagramu je obtížné, a tak se častěji používá zobrazení koule nebo polokoule (viz obr. 2.5) v sinusoidálním zobrazení.

Osvětlenost

Osvětlenost, nebo také intenzita osvětlení, představuje další z odvozených fotometrických veličin. Udává hodnotu světelného toku dopadajícího na jednotkovou plochu (1 m²) viz obr. 2.6.

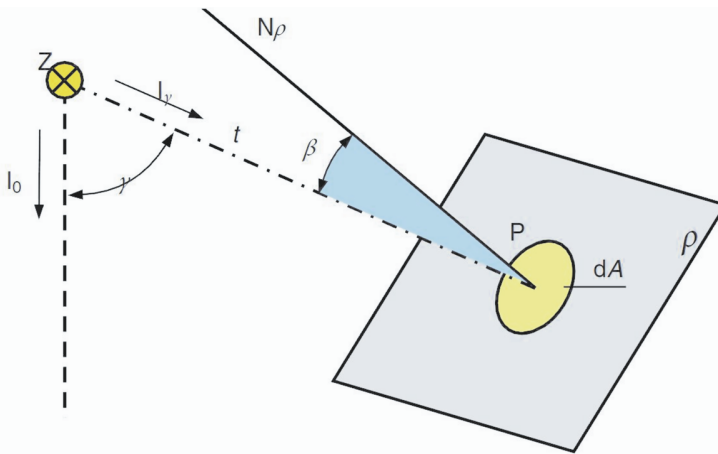


Obr. 2.6: Osvětlenost

Jednotkou osvětlenosti je lux (lx) a platí:

$$E = \frac{d\Phi}{dA} \quad (2.10)$$

kde E - osvětlenost (lx); dΦ - velikost světelného toku dopadlého na plochu (lm); dA - plocha, na kterou dopadá světelné záření (m²).



Obr. 2.7: Definice osvětlenosti bodového zdroje [3]

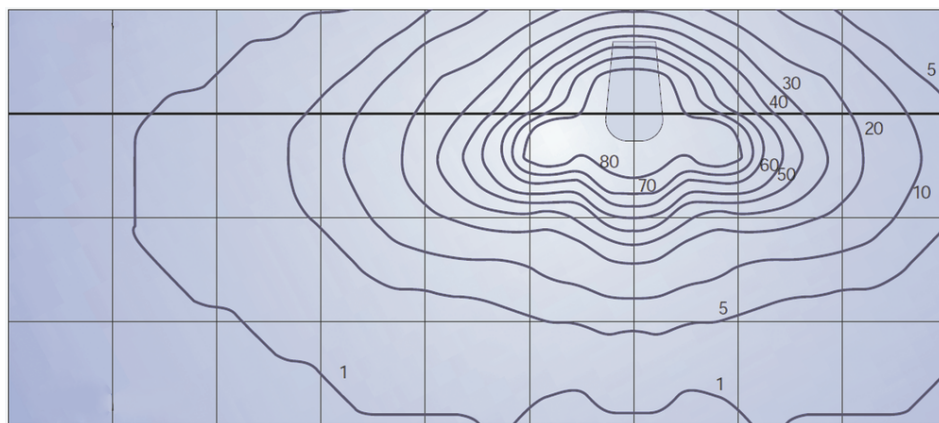
Osvětlenost bodového zdroje lze vyjádřit i pomocí svítivosti, a to na základě tzv. čtvercového a kosinového zákona. Na obr. 2.7 je zobrazena rovina ρ , na které je ze vzdálenosti l osvětlen bod P , jehož bezprostřední okolí tvoří plocha dA . Normála roviny N_ρ svírá s paprskem světla úhel β . Hodnotu intenzity osvětlení pak určíme pomocí svítivosti I_γ ze vztahu:

$$E = \frac{I_\gamma \cdot \cos \beta}{l^2} \quad (2.11)$$

kde β - úhel svírající dopadající paprsek s normálou plochy; l - vzdálenost světelného zdroje od plochy (m).

Z rovnice je patrné, že intenzita osvětlení v daném bodě P klesá s rostoucí vzdáleností l světelného zdroje od tohoto bodu (přesněji se čtvercem vzdálenosti - čtvercový zákon). Osvětlenost je zároveň přímo úměrná hodnotě kosinu úhlu β ($\cos \beta$ - kosinův zákon - se vzrůstajícím úhlem β klesá osvětlenost). Svítivost I_γ představuje hodnotu, která je odečtena s úhlem γ ke svítivosti I_0 , viz obr. 2.7. Maximální osvětlenosti tedy dosáhneme v případě, kdy bude normála roviny svírat s dopadajícím paprskem nulový úhel ($\beta = 0$). Hodnota kosinu pak bude mít maximální hodnotu ($\cos 0^\circ = 1$). V tomto případě mluvíme o normálové osvětlenosti E_N .

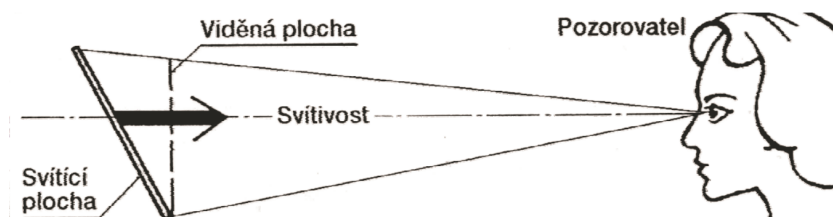
Podobně jako u předešlých veličin, je i zde možnost změřit na určité ploše v kontrolních bodech hodnoty osvětlenosti a následně pospojovat stejné hodnoty křivkami (izoluxami), které vytvoří izoluxní mapu, jako třeba na obr. 2.8. [2],[3],[5]



Obr. 2.8: Izoluxní mapa [2]

Jas

Jas je fotometrická veličina definovaná jako měrná svítivost. Označuje se L a udává se v $(\text{cd} \cdot \text{m}^{-2})$. Je to veličina, na kterou oko přímo reaguje (přesněji řečeno lidské oko reaguje na kontrast jasu).



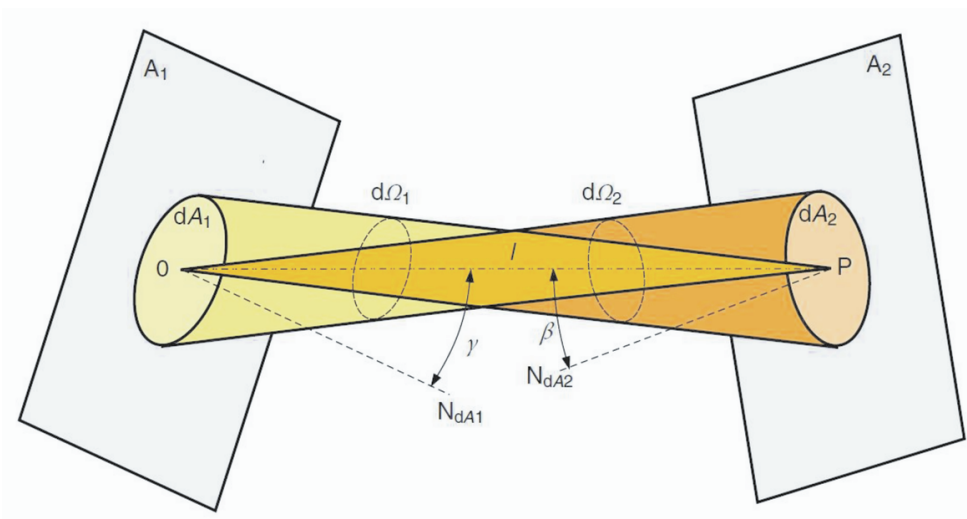
Obr. 2.9: Definice jasu [5]

Jas je určen plošnou a prostorovou hustotou světelného toku. Proto vždy záleží na poloze pozorovatele a na směru jeho pohledu. Nezáleží přitom, zda vychází jas svazku paprsků přímo ze zdroje záření, nebo je odražen od libovolné plochy.

Pokud určitému bodu prostoru určíme velikost jasu svazku paprsků a vynešeme je v odpovídajících úhlech jako radiusvektory, pak dostaneme fotometrickou plochu s rozložením jasů. Touto plochou pak můžeme provést řezy procházející vztažným bodem. Zde jasy svazků paprsků v daných úhlech představují čáry udávané v polárních souřadnicích. Čáry se dají popsat vztahem:

$$L_{\gamma} = L_0 \cdot f(\gamma) \quad (2.12)$$

kde L_0 - jas ve vztažném směru ($\text{cd} \cdot \text{m}^{-2}$); L_{γ} - jas ve vztažném směru ($\text{cd} \cdot \text{m}^{-2}$); $f(\gamma)$ - funkce charakterizující tvar čáry jasu.



Obr. 2.10: Svazky rozbíhajících a sbíhajících se paprsků [3]

Jak již bylo výše zmíněno, je jas svazku paprsků veličinou danou plošnou a prostorovou hustotou světelného toku, který paprsky přenáší. Platí vztah (2.13)

$$L_{OP} = \frac{d^2\Phi}{d\Omega \cdot dA_n} = \frac{d^2\Phi}{d^2G} \quad (2.13)$$

kde L_{OP} představuje jas ve směru osy OP obr. 2.10, $d\Omega$ prostorový úhel, kterým se tyto paprsky šíří a dA_n plocha, která je kolmá k ose svazku paprsku. Jmenovatele můžeme jednoduše přepsat do tvaru d^2G , což představuje geometrickou velikost svazku.

Pokud je vzdálenost stínítek A_1 a A_2 tak velká, že můžeme zanedbat velikosti ploch dA_1 a dA_2 , vypočítá se výše zmíněná geometrická velikost svazku následovně.

$$d^2G = dA_1 \cos \gamma \cdot d\Omega_2 = dA_2 \cos \beta \cdot d\Omega_1 = \frac{1}{l^2} dA_1 dA_2 \cos \gamma \cos \beta \quad (2.14)$$

Z rovnice je patrné, že otvor dA_1 je vidět z otvoru dA_2 pod prostorovým úhlem $d\Omega_1$.

$$d\Omega_1 = dA_1 \cdot \cos \gamma \cdot l^2$$

Podobně zjistíme prostorový úhel $d\Omega_2$, pod kterým vidíme otvor dA_2 skrz otvor dA_1 .

$$d\Omega_2 = dA_2 \cdot \cos \beta \cdot l^2$$

Pokud se paprsky sbíhají v určitém prostorovém úhlu $d\Omega_1$ z plochy dA_1 do bodu P v ploše dA_2 , můžeme z rovnice (2.13) a (2.14) sestavit výraz:

$$L_{OP} = \frac{d^2\Phi}{d\Omega_1 \cdot dA_2 \cdot \cos \beta} = \frac{dE_N}{d\Omega_1} \quad (2.15)$$

kde dE_N - normálová osvětlenost (lx).

Normálová osvětlenost dE_N představuje průmět plochy dA_2 do roviny, která je kolmá k paprsku. Naopak pro rozbíhající se paprsky z bodu O v ploše dA_1 v prostorovém úhlu $d\Omega_2$ bude jas svazku paprsků. [3],[5]

$$L_{OP} = L_\gamma = \frac{d^2\Phi}{d\Omega_2 \cdot dA_1 \cdot \cos \gamma} = \frac{dI_\gamma}{dA_1 \cdot \cos \gamma} \quad (2.16)$$

Světlení

Světlení je fotometrická veličina definující plošnou hustotu světelného toku $d\Omega$, jenž je vyzařován z plochy dA . Definuje tedy velikost světelného toku vycházejícího z této plochy dA .

$$M = \frac{d\Phi_V}{dA} \quad (2.17)$$

kde M - světlení ($\text{lm} \cdot \text{m}^{-2}$); $d\Phi_V$ - plošná hustota světelného toku (lm); dA - plocha, ze které vychází světelný tok (m^2).

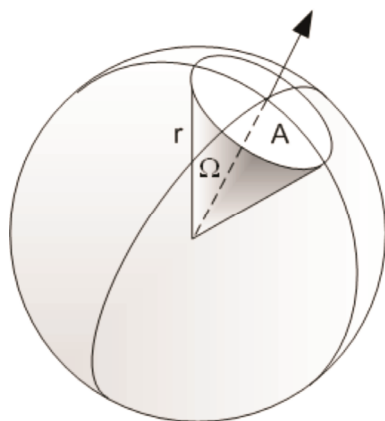
Jednotkou je lumen na metr čtvereční ($\text{lm} \cdot \text{m}^{-2}$). Světlení má souvislost s jasnem L_0 . Tuto souvislost lze vyjádřit následující rovnicí. [3],[5]

$$M = \int_0^\Omega L_\gamma \cos \gamma d\Omega = L_0 \int_0^\Omega f_L(\gamma) \cos \gamma d\Omega = L_0 \int_0^\Omega f_I(\gamma) d\Omega = L_0 \Omega_e \quad (2.18)$$

kde L_γ - jas plochy dA svítící pod úhlem γ od normály této plochy, L_0 - jas plochy ve směru normály plochy dA ; Ω - prostorový úhel; Ω_e - ekvivalentní prostorový úhel.

Prostorový úhel

Prostorový úhel je důležitá veličina, která se používá při výpočtech ve světelné technice. Představuje část prostoru, který je vymezen kuželovou plochou, jenž na kouli o poloměru r vytvoří plochu A. Vrchol takového kužele je ve středu koule. Velikost prostorového úhlu, pod kterým jde ze středu koule vidět plocha A, se vypočte ze vztahu (2.19).



Obr. 2.11: Vymezení prostorového úhlu

$$\Omega = \frac{A}{r^2} \quad (2.19)$$

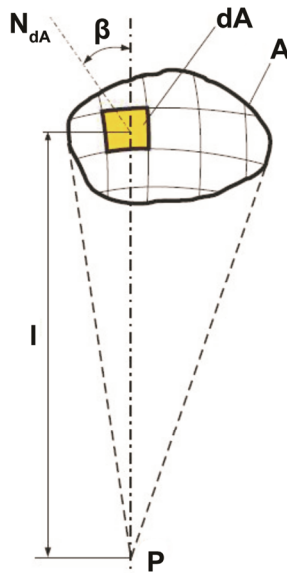
kde Ω - prostorový úhel ve steradiánech (sr); A - plocha vytvořená kuželem představující daný prostorový úhel (m^2); r - poloměr (m).

Jednotkou prostorového úhlu je steradián (sr). Maximální hodnotu prostorového úhlu dostaneme tak, že za A budeme uvažovat povrch celé koule ($A = 4\pi r^2$, $\Omega = 4\pi$).

Pokud budeme chtít určit prostorový úhel elementu dA , který je vidět ze vzdálenosti l na obr. 2.12, určíme ho podle následujícího vzorce:

$$d\Omega = \frac{dA \cos \beta}{l^2} \quad (2.20)$$

kde β - je úhel mezi normálou N_{dA} a paprskem světla l .



Obr. 2.12: Určení prostorového úhlu elementu ploch

Někdy se také uvádí takzvaný ekvivalentní prostorový úhel Ω_e . Ten představuje úhel, do něhož by bodový zdroj záření vyzářil všechnen světelný tok Φ , kdyby svítivost byla ve všech směrech stejná a rovná vztažné svítivosti I_0 . Ekvivalentní prostorový úhel vypočteme podle vztahu (2.21). [3],[4],[5]

$$\Omega_e = \frac{\Phi}{I_0} \quad (2.21)$$

kde Ω_e - ekvivalentní prostorový úhel (sr); Φ - světelný tok (lm); I_0 - svítivost ve vztažném směru (cd).

2.2.2. Shrnutí základních výpočetních vztahů

Kontrast jasu

Viditelnost předmětů je dána rozdílem jasu pozorovaného předmětu L_a a jeho okolí L_b . Kontrast jasů, pomocí kterého posuzujeme viditelnost předmětů, je definován pomocí vztahu:

$$K = \frac{|L_a - L_b|}{L_b} \quad (2.22)$$

kde K - kontrast; L_a - jas předmětu ($\text{cd} \cdot \text{m}^{-2}$); L_b - jas pozadí ($\text{cd} \cdot \text{m}^{-2}$).

Absolutní hodnoty v obou vztazích jsou použity proto, že kontrast může být jak pozitivní, tak negativní. Nejmenší kontrast jasů, kdy ještě můžeme rozeznat předměty, se nazývá práh rozlišitelnosti jasu a je dán vztahem [1],[3]

$$K_{\min} = \frac{|L_a - L_b|_{\min}}{L_b} \quad (2.23)$$

Měrný výkon světelných zdrojů

U elektrických světelných zdrojů ověřujeme jaká je úroveň přeměny elektrické energie na světelnou energii. Měrný výkon je dán podílem světelného toku Φ a elektrického příkonu P . Měrný výkon tak určuje, jakou hodnotu světelného toku lze získat z jednoho wattu. Je však nutné dát pozor při výpočtu zdrojů světla, které mají předřadník, jako jsou zářivky nebo výbojky. Zatímco u zdrojů bez předřadníků (klasické žárovky) je udávaný výkon shodný s příkonem světelného zdroje. U světelných zdrojů s předřadníkem je nutno definovat měrný příkon. Ten je roven měrnému výkonu zvětšenému o výkon spotřebovaný předřadníkem. [1],[3]

$$\eta_p = \frac{\Phi}{P} \quad (2.24)$$

kde η_p - měrný světelný výkon ($\text{lm}\cdot\text{W}^{-1}$); Φ - světelný tok (lm); P - elektrický příkon (W).

Svítivost

Svítivost obecně lze vypočítat z podílu světelného toku Φ a prostorového úhlu Ω , pod kterým je světelný tok vyzařován. [1],[3]

$$I = \frac{\Phi}{\Omega} \quad (2.25)$$

kde I - svítivost (cd); Φ - světelný tok (lm); Ω - prostorový úhel (sr).

Osvětlenost – intenzita osvětlení

Osvětlenost se zjistí podílem světelného toku Φ dopadajícího na plochu A . [1],[3]

$$E = \frac{\Phi}{A} \quad (2.26)$$

kde E - osvětlenost (lx); Φ - světelný tok (lm); A - plocha, na kterou dopadá světelný tok (m^2).

Světlení

Světlení vyjadřuje světelný tok Φ , který je vyzařován z plochy A dle vztahu: [1],[3]

$$M = \frac{\Phi}{A} \quad (2.27)$$

kde M - světlení ($\text{lm}\cdot\text{m}^{-2}$); Φ - světelný tok (lm); A - plocha, na kterou dopadá světelný tok (m^2).

Jas

Jas se vypočítá z podílu svítivosti I a průmětu svítící plochy S_p , kterou pozorovatel vidí. Pokud plochu vidíme pod určitým úhlem, bude průmět této plochy menší než skutečná plocha (viz obr. 2.9). [1],[3]

$$L = \frac{I}{S_p} \quad (2.28)$$

kde L - jas ($\text{cd}\cdot\text{m}^{-2}$); I - svítivost (cd); S_p - průmět svítící plochy (viz obr. 2.9).

Rovnoměrnost osvětlenosti, jasu

Měřením, popřípadě výpočtem, lze zjistit v síti kontrolních bodů hodnotu minimální osvětlenosti E_{\min} a aritmetickým průměrem průměrnou hodnotu osvětlenosti E_p , totéž platí pro jasy. Z těchto hodnot pak lze vypočítat rovnoměrnosti osvětlenosti a jasu.

$$\frac{E_{\min}}{E_p} \approx \frac{L_{\min}}{L_p} \quad (2.29)$$

V některých specifických případech lze vyjádřit rovnoměrnost i podílem minimální E_{\min} vůči maximální hodnotě E_{\max} . Jedná se zejména o osvětlení komunikací (podélná rovnoměrnost) a sportovišť. [1],[3]

$$\frac{L_{\min}}{L_{\max}} \cong \frac{E_{\min}}{E_{\max}} \quad (2.30)$$

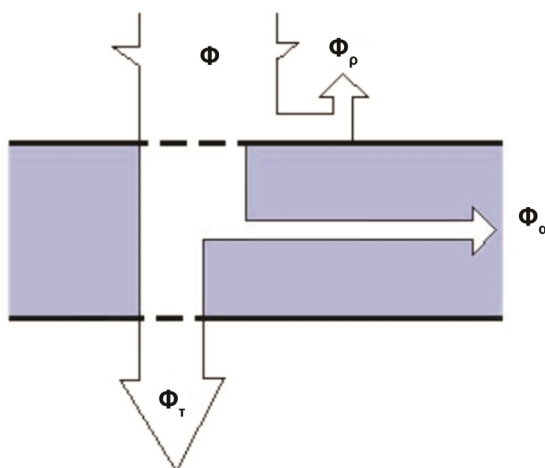
2.2.3. Světelnotechnické vlastnosti látek

Světelná technika pracuje s různými materiály, proto je nutné znát vlastnosti materiálu, se kterým se bude pracovat. K popisu světelnotechnických vlastností materiálů se používají tři základní činitele. Spektrální činitel popisující odraznost materiálu se označuje $\rho(\lambda)$, pro pohltivost $\alpha(\lambda)$ a pro propustnost $\tau(\lambda)$. Platí pro ně vztah:

$$\rho(\lambda) + \tau(\lambda) + \alpha(\lambda) = 1 \quad (2.31)$$

Spektrální činitele jsou závislí na vlnové délce dopadajícího záření λ . Ze spektrálních činitelů lze vyjádřit integrální činitele integrací dopadajícího záření ve viditelné oblasti.

$$\rho = \frac{\int_{380}^{780} \left(\frac{d\Phi_e(\lambda)}{d\lambda} \right)_{\lambda} \cdot V(\lambda) \cdot \rho(\lambda) \cdot d\lambda}{\int_{380}^{780} \left(\frac{d\Phi_e(\lambda)}{d\lambda} \right)_{\lambda} \cdot V(\lambda) \cdot d\lambda} \quad (2.32)$$



Obr. 2.13: Rozdělení světelného toku v závislosti na činitelích odrazu, prostupu a pohlcení

Analogické vztahy platí i pro činitele prostupu τ a činitele pohlcení α . Vztah (2.32) lze zjednodušit a obecně platí (2.33).

$$\rho = \frac{\Phi_{\rho}}{\Phi}, \quad \tau = \frac{\Phi_{\tau}}{\Phi}, \quad \alpha = \frac{\Phi_{\alpha}}{\Phi} \quad (2.33)$$

Dopadající světelný tok Φ lze vyjádřit pomocí vztahu:

$$\Phi_{\rho} + \Phi_{\tau} + \Phi_{\alpha} = \Phi \quad (2.34)$$

kde Φ_{ρ} - světelný tok odražený, Φ_{τ} - světelný tok, který projde materiálem a Φ_{α} - světelný tok, jenž je pohlcen materiálem (viz obr. 2.13). [3]

Pomocí výše uvedených vztahů lze popsat chování některých materiálů. Například absolutně černé těleso pohlcuje veškeré dopadající záření, jeho chování se dá popsat následovně:

$$\alpha = 1 \quad (\tau = 0, \rho = 0)$$

Pro neprůsvitné materiály platí:

$$\rho + \alpha = 1 \quad (\tau = 0)$$

Látky, kterými se běžně světlo šíří (vzduch) se považují za dokonale průsvitné a tudíž platí:

$$\tau = 1 \quad (\rho = 0, \alpha = 0)$$

Jako příklad jsou v tab. 2.2 uvedeny hodnoty integrálních činitelů ρ , τ , α u vybraných průsvitných materiálů.

materiál	Integrální činitel (%)		
	odrazu ρ	prostupu τ	pohlčení α
čiré sklo (tl. 2 - 4 mm)	6 - 8	90 - 92	2 - 4
sklo matové leptané (tl. 2 - 3 mm)	6 - 11	75 - 91	3 - 19
sklo opálové bílé (tl. 2 - 3 mm)	29 - 52	36 - 66	3 - 10
sklo opalizované (tl. 2 - 3 mm)	13 - 28	59 - 84	3 - 13
mramor bílý lesklý (tl. 7 - 10 mm)	30 - 71	3 - 8	24 - 65

Tab. 2.2: Hodnoty činitelů prostupu, odrazu a pohlčení některých materiálů [3]

V tab. 2.3 jsou uvedeny příklady chování neprůsvitných materiálů. Zde jsou použity pouze integrální činitelé odrazu.

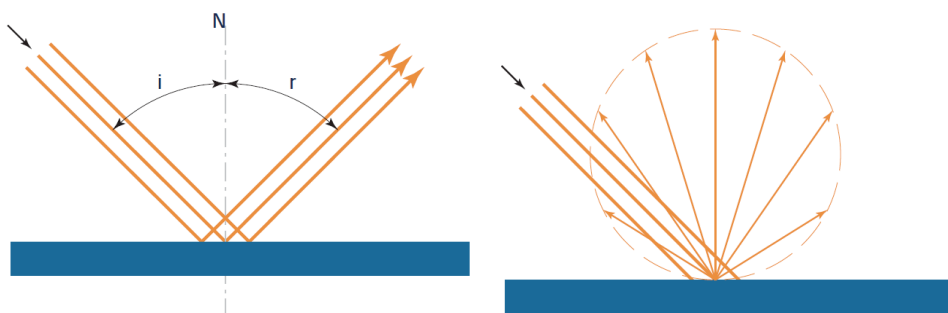
materiál, povrch	Integrální činitel odrazu (%)
hliník leštěný	60 - 72
papír bílý	80
dřevo javorové, surové, přírodně voskované	40 - 50
cihly červené	25
malba bílá	76 - 80

Tab. 2.3: Integrální činitelé odrazu neprůsvitných materiálů [3]

U filtrů omezující vstup světelného záření se lze setkat s termínem optická hustota D , která dle vztahu (2.35) přímo souvisí s integrálním činitelem pohlcení.

$$D = -\log_{10} \tau = \log_{10} \left(\frac{1}{\tau} \right) \quad (2.35)$$

Světelnotechnické vlastnosti materiálů lze popsat podle toho, v jakých směrech a jak odráží nebo propouští světelné záření. V nejjednodušším případě se paprsek odráží pod stejným úhlem, pod jakým dopadl. Tomuto odrazu se říká zrcadlový odraz (viz obr. 2.14 vlevo). Pokud je povrch materiálu nepravidelný, dochází ke smíšenému odrazu (viz obr. 2.15). Při tomto odrazu se paprsek s nejvyšší intenzitou odráží pod stejným úhlem, pod jakým dopadl, ale také dochází k odrazu paprsků s nižší intenzitou pod jinými úhly. [3]



Obr. 2.14: Vlevo ideální (zrcadlový) odraz a vpravo difúzní odraz (Lambertův zářič) [2]

Dalším případem je difúzní odraz. Při něm dochází k rovnoměrnému rozptylu odraženého záření do celého prostoru. U difúzního odrazu dosahuje svítivost maximální hodnoty v kolmém směru (I_0) (viz obr. 2.14 vpravo). Pod jinými úhly se svítivost vypočítá podle kosinového zákona.

$$I_\gamma = I_0 \cdot \cos \gamma \quad (2.36)$$

Předměty, které dokonale rozptylují odražené záření, se nazývají Lambertovy zářiče. Jelikož je fotometrická plocha polokulová, bude ekvivalentní prostorový úhel takového zářiče $\Omega_e = \pi$. Na základě toho můžeme uvést závislost světlení M a jasu L .

$$M = \pi L \quad (2.37)$$

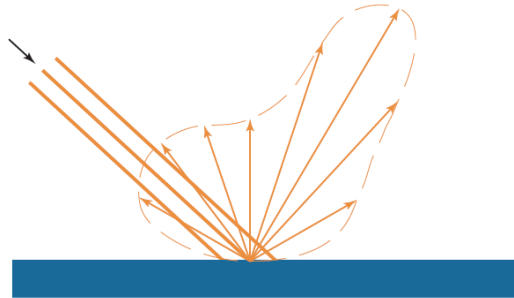
Světlení M můžeme vyjádřit vztahem pomocí činitele odrazu ρ a osvětlenosti E :

$$M = \rho E \quad (2.38)$$

Spojením obou předchozích vzorců dostaneme rovnici, která platí pro Lambertovu plochu:

$$\rho E = \pi L \quad (2.39)$$

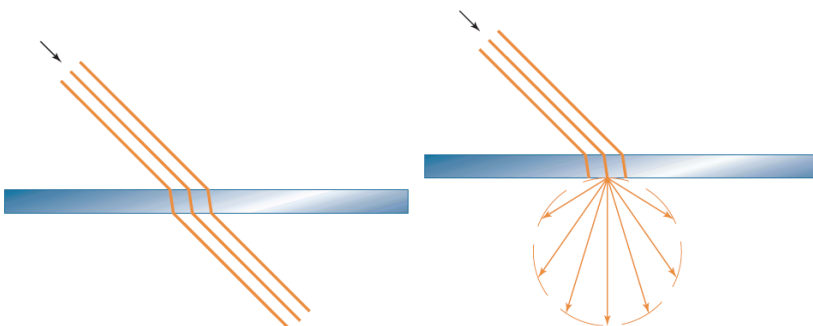
Materiály v praxi vykazují většinou takzvaný smíšený odraz (viz obr. 2.15). Ten můžeme vyjádřit sečtením činitele zrcadlového a difúzního odrazu. V praxi i zrcadla obsahují malou část rozptylujícího záření a naopak matné povrchy pro rozptyl vykazují zrcadlový odraz v jistém malém rozsahu úhlů. V praktických výpočtech se kvůli zjednodušení počítá s ideálními odraznými a rozptylujícími vlastnostmi materiálů.



Obr. 2.15: Smíšený odraz [2]

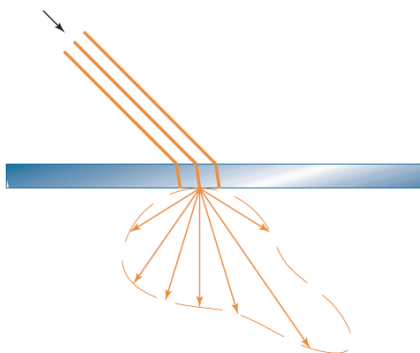
Podobně jako odraz můžeme materiál popsat i na základě toho, jak propouští světelné záření. U čirých materiálů (voda, sklo...) dochází k prostupu záření tím způsobem, že úhel dopadu je stejný jako úhel, pod kterým záření z materiálů vystupuje, je však rovnoběžně posunut (viz obr. 2.16 vlevo). Dalším případem je difúzní rozptyl (viz obr. 2.16 vpravo). Dochází k němu u dokonale rozptylujících materiálů. Stejně jak v případě difúzního odrazu je i při prostupu maximální svítivost I_0 v kolmém směru. Svítivost v ostatních směrech se vypočte podle stejného vzorce.

$$I_\gamma = I_0 \cdot \cos \gamma \quad (2.40)$$



Obr. 2.16: Přímý (vlevo) a difúzní (vpravo) vstup světelného záření [2]

V praxi však dochází ke smíšenému prostupu (viz obr. 2.17). Opět je složen z části difúzního a přímého prostupu.

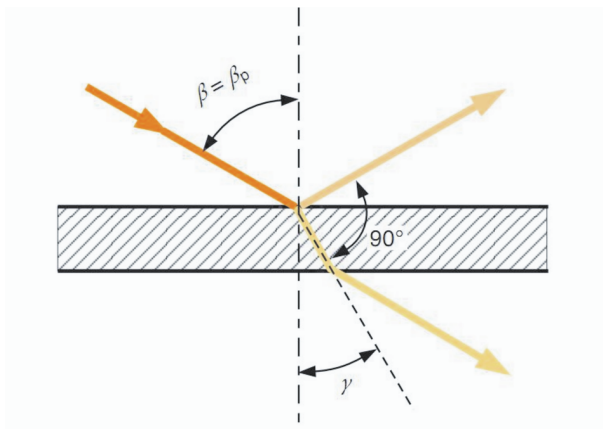


Obr. 2.17: Smíšený prostup záření [2]

Jak bylo výše zmíněno, dochází při prostupu záření tenkou vrstvou skla pouze k rovnoběžnému posunu tohoto záření. Ve skutečnosti dojde k částečnému odrazu tohoto záření a také k jeho lomu. Pokud bude vrstva tenká, lze odraz s lomem ztotožnit. S rostoucí tloušťkou se odraz i lom budou od sebe lišit (viz obr. 2.18). [3],[4],[5]

Index lomu se určí podle vzorce:

$$n = \frac{\sin \beta}{\sin \gamma} \quad (2.41)$$

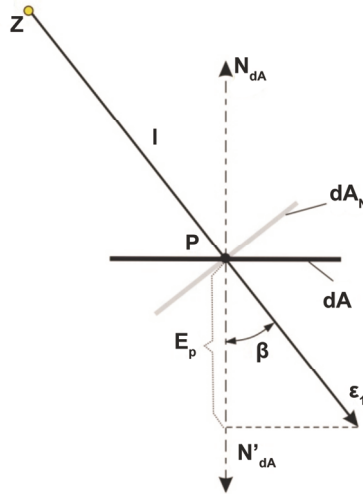


Obr. 2.18: Odraz a lom paprsku

2.3. Integrální charakteristiky světelného pole

Světelné pole můžeme definovat jako fyzikální pole, ve kterém dochází k fyzikálnímu ději, přenosu energie světlem. Světelné pole se tedy nachází všude, kde můžeme měřením prokázat přítomnost světla. Pole může být skalární nebo vektorové, záleží jak jej definujeme. V tomto poli se zjišťují změny světelného toku v závislosti na čase.

Při popisu světelného vektoru nalezneme analogii u elektromagnetického pole, jako Poyntingův vektor. Tento vektor udává velikost energie, která projde kolmo jednotkovou plochou za jednotku času. Ve světelné technice je tento vektor nahrazen hustotou světelného toku. Velikost je určena energií, která projde kolmo na směr záření jednotkovou plochou za jednotku času. [3]



Obr. 2.19: Definice světelného vektoru [3]

Na obr. 2.19 je světelný vektor ε_1 v bodě P za přítomnosti jednoho bodového zdroje Z. Jeho velikost je rovna normálové osvětlenosti E_N v témže bodě. Jeho velikost lze rovněž vyjádřit plošnou hustotou světelného toku $d\Phi$, který dopadl kolmo na plochu dA_N , jenž je kolmá k paprsku světelného záření I.

$$|\varepsilon_1| = E_N = \frac{d\Phi}{dA_N} \quad (2.42)$$

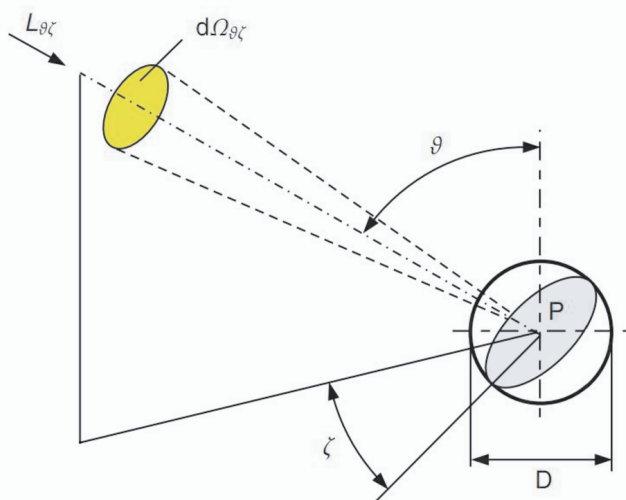
kde ε_1 - světelný vektor; E_N - normálová osvětlenost (lx); $d\Phi$ - plošná hustota světelného toku dopadající kolmo na plochu dA_N (lm); dA_N - plocha kolmá k dopadajícímu paprsku (m^2).

Pokud bodem P vedeme normálu N'_{dA} svírající s vektorem ε_1 úhel β , pak můžeme vypočítat světelný tok vektoru.

$$d\Phi = \varepsilon_1 \cdot dA = \varepsilon_1 \cdot dA \cdot \cos \beta = E_N \cdot dA \cdot \cos \beta \quad (2.43)$$

Pokud je současně přítomno několik světelných zdrojů, pak světelný vektor v každém bodě má velikost rovnou vektorovému součtu jednotlivých světelných vektorů.

Pro objektivní stanovení osvětlení prostoru se využívají kromě osvětlenosti vodorovných povrchů také osvětlenosti elementárních ploch s jiným než rovinným tvarem (koule, polokoule, válec, poloválec). Tyto povrchy tvoří náhradní přijímače a nahrazují předměty, které se mohou vyskytovat v místě pozorování. Souhrnně těmto skalárním veličinám říkáme integrální charakteristiky světelného pole a určují střední hodnotu osvětlenosti těchto elementárních povrchů. Mezi základní patří prostorová osvětlenost a válcová osvětlenost, případně polokulová a poloválcová osvětlenost.



Obr. 2.20: Prostorová osvětlenost [3]

Prostorová osvětlenost se ze skupiny skalárních integrálních charakteristik používá nejčastěji. Je určena střední hodnotou osvětlenosti kulového přijímače. Průměr této koule je zanedbatelný vzhledem ke vzdálenosti zdroje od bodu P. Pomocí střední kulové osvětlenosti určujeme osvětlenost v daném místě prostoru. [3]

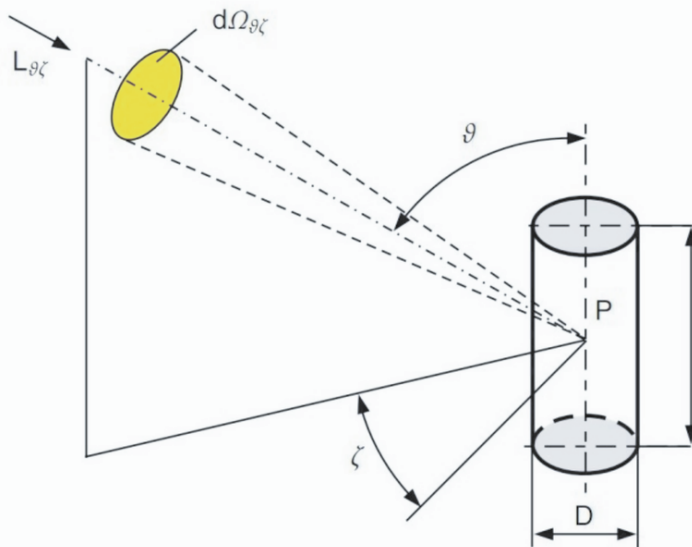
Prostorová osvětlenost E_0 se určí podle vztahu:

$$E_0 = \frac{1}{4} \int_0^{4\pi} dE_N = \frac{1}{4} \int_0^{4\pi} L_{\vartheta\zeta} \cdot d\Omega_{\vartheta\zeta} = \frac{1}{4} \int_{\zeta=0}^{2\pi} \int_{\vartheta=0}^{\pi} L_{\vartheta\zeta} \sin \vartheta d\vartheta d\zeta \quad (2.44)$$

kde E_0 - prostorová osvětlenost (lx).

Je dána čtvrtinou algebraického součtu normálových osvětleností v bodě P. V tomto případě není střední kulová osvětlenost závislá na směru, ze kterého dopadá záření. V tomto vzorci představuje $d\Omega_{\vartheta\zeta}$ vektor prostorového úhlu vymezený úhly ϑ a ζ , a $L_{\vartheta\zeta}$ jas svazku paprsků.

Další integrální charakteristikou je válcová osvětlenost. Opět je i tato charakteristika zavedena v normách států pro posuzování osvětlenosti umělými zdroji světla ve veřejných a společenských prostorech, protože v těchto místech je směr pozorování většinou ve vodorovném směru, tedy je pro vyhodnocení důležité znát rozložení intenzity jasů, nebo osvětlenosti na svislých plochách. Jelikož se jedná o válec, bude hodnota osvětlenosti rovna střední hodnotě osvětlenosti jeho pláště, jenž je umístěn v daném místě. Rozměry válce se definují pomocí průměru neprůsvitné podstavy D a výšky h . Tyto rozměry jsou opět zanedbatelné v porovnání vzdálenosti zdroje záření a kontrolního bodu P . [3]



Obr. 2.21: Válcová osvětlenost [3]

Válcovou osvětleností hodnotíme dostatečné osvětlení v místě, kde umístíme tento elementární válec. Integrální rovnice vypadá následovně:

$$E_z = \frac{1}{\pi} \int_0^{4\pi} \sin \vartheta L_{\vartheta\zeta} \cdot d\Omega_{\vartheta\zeta} = \frac{1}{\pi} \int_{\zeta=0}^{2\pi} \int_{\vartheta=0}^{\pi} L_{\vartheta\zeta} \sin^2 \vartheta d\vartheta d\zeta \quad (2.45)$$

kde E_z - válcová osvětlenost (lx).

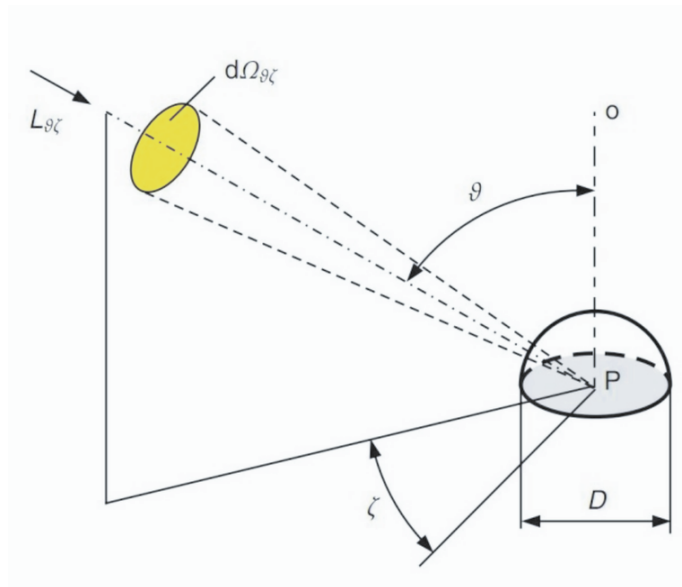
Na rozdíl od střední kulové osvětlenosti, závisí válcová osvětlenost na směru dopadu paprsku.

Při hodnocení trojrozměrných předmětů umístěných na velké ploše, kdy není důležité znát osvětlenost těch částí předmětů, které jsou od pozorovatele odvráceny, se používá integrální charakteristika polokulového náhradního přijímače. Označujeme ji tedy jako polokulovou osvětlenost. Stejně jako v předchozích případech, se jedná o střední hodnotu osvětlenosti povrchu polokoule, která je umístěna v kontrolním bodě P a jejíž rozměry jsou nepatrné vůči vzdálenosti kontrolního bodu od zdroje světla. Stejně jak válcová osvětlenost, je i tato závislá na směru

dopadu paprsků. V případě že úhel $\nabla = 0$, můžeme pro polokulovou osvětlenost vytvořit vztah: [3]

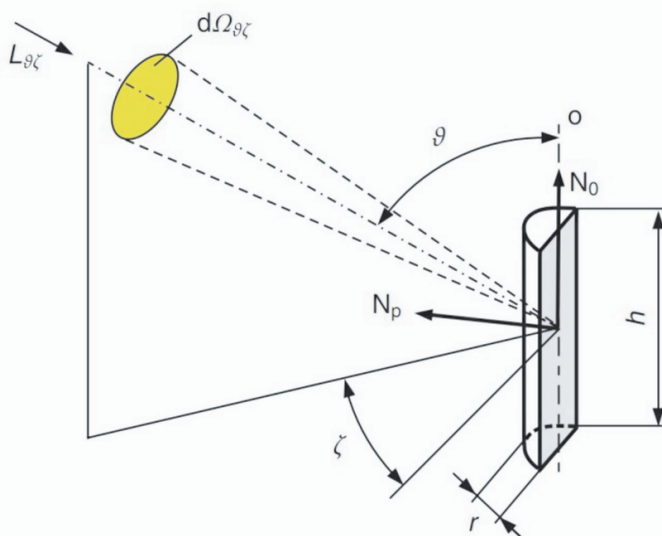
$$E_{hs} = \frac{1}{4} \int_0^{4\pi} (1 + \cos \vartheta) L_{\vartheta\zeta} d\Omega_{\vartheta\zeta} = \frac{1}{4} \int_{\zeta=0}^{2\pi} \int_{\vartheta=0}^{\pi} (1 + \cos \vartheta) L_{\vartheta\zeta} d\vartheta d\zeta \quad (2.46)$$

kde E_{hs} - polokulová osvětlenost (lx).



Obr. 2.22: Polokulová osvětlenost [3]

Čtvrtou integrální charakteristikou používanou pro hodnocení osvětlení je poloválcová osvětlenost. Té se využívá v místech, kde se vnímání detailů musí přesněji vymezit, a kde se opět počítá s vlivem svislých ploch, tedy v místech společenských, pracovních ale také veřejných pěších zónách. Tato skalární veličina opět vyjadřuje střední hodnotu osvětlenosti povrchu poloválce.



Obr. 2.23: Poloválcová osvětlenost [3]

Tento poloválec je orientován pomocí dvou vektorů. První z nich N_0 vede podélnou osou o a druhý N_p tvoří normálu k obdélníkové ploše poloválece. Podélná osa může být umístěna buď vodorovně, nebo svisle, podle toho v jakém případě je použita. V pracovních místech je orientována vodorovně, zatímco ve veřejných pěších zónách je orientována svisle. Když vektor N_0 umístíme tak, že úhel $\vartheta = 0$ a vektor N_p pod úhlem $\zeta = 0$, pak můžeme střední poloválcovou osvětlenost vypočítat podle vztahu: [3]

$$E_{sz} = \frac{1}{\pi} \int_0^{\pi} \sin \vartheta (1 + \cos \zeta) L_{\vartheta\zeta} d\Omega_{\vartheta\zeta} = \frac{1}{\pi} \int_{\zeta=0}^{2\pi} \int_{\vartheta=0}^{\pi} L_{\vartheta\zeta} \sin^2 \vartheta (1 + \cos \zeta) d\vartheta d\zeta \quad (2.47)$$

kde E_{sz} - poloválcová osvětlenost (lx).

2.4. Barevné vlastnosti světelných zdrojů a předmětů

Vnímání barev je složitý proces, který je založen na fyziologických vlastnostech lidského oka. Ne všichni lidé vnímají stejné barvy stejně. Vnímání barev také ovlivňují podmínky, za jakých dochází k barevnému vjemu.

Barevné vlastnosti světla jsou nazývány jako chromatičnost, a jsou dány spektrálním složením vyzařujícího zdroje. Barevné vlastnosti látek (materiálů) jsou nazývány kolorita. Kolorita je pak dána spektrálním složením zdroje, který osvětluje předmět a spektrální odrazností nebo propustností materiálu.

Jak bylo výše zmíněno, záleží vnímání barev na okolních podmínkách. Za jistých okolností můžeme vnímat dvě různé barvy stejně. Lidské oko obsahuje čípky, které jsou citlivé na dlouhé, střední a krátké vlnové délky (ρ , γ , β). Může dojít ke stimulaci těchto čípků tím způsobem, že barvy se nám jeví stejně. To může způsobit

bit jak druh osvětlení, tak i odlišnou citlivost na barvu v lidském oku. Tomuto jevu se říká metamerie.

Oko nedokáže rozlišovat spektrální složení světla, ale vnímá ho aditivně. To znamená, že monochromatickému záření odpovídá vždy přesně daná vlnová délka. Opačně to však neplatí. Jak bude dále popsáno, jakákoliv barva může být složená správnou kombinací tří základních barev (trichromatická soustava RGB). Stejná barva může být namíchaná několika kombinacemi těchto tří barev.

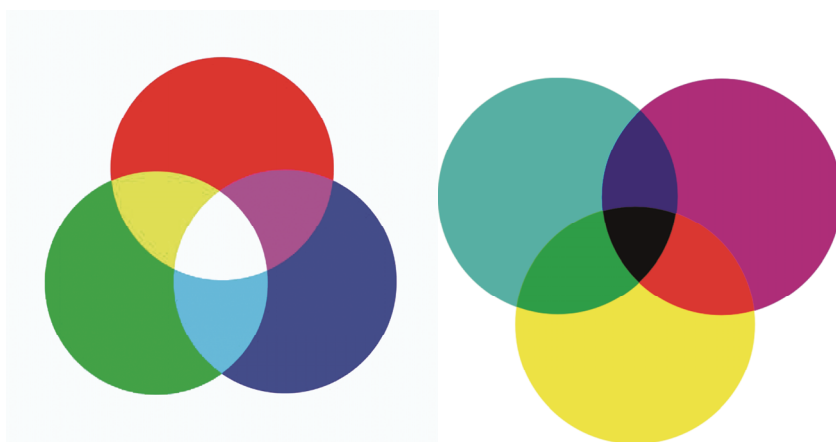
K popisu barvy používáme několik pojmů. První z nich je **barevný tón**. Každému barevnému tónu náleží určitá vlnová délka. Barvy dále dělíme do dvou skupin, a to na barvy **chromatické** (pestré) a **achromatické** (nepestré). Mezi pestré patří barvy mající barevný tón (červená, modrá, atd.) a mezi nepestré patří bílá, černá a odstíny šedi. Dále se barvy dělí na **spektrální** a **nespektrální**. Mezi spektrální patří barvy obsažené ve spektru slunečního záření. Nespektrální barvy nejsou obsaženy ani ve slunečním záření, ani v záření umělého zdroje. Označujeme je jako **purpurové** a vznikají při míchání krajních barev viditelného spektra (červená, fialová). [8]

Vlnová délka (nm)	Barevný tón
380-430	Fialová
430-465	Modrofialová
465-490	Modrá
490-500	Modrozelená
500-560	Zelená
560-575	Zelenožlutá
575-585	Žlutá
585-620	Oranžová
620-770	Červená

Tab. 2.4: Vymezení barev na základě vlnové délky [3]

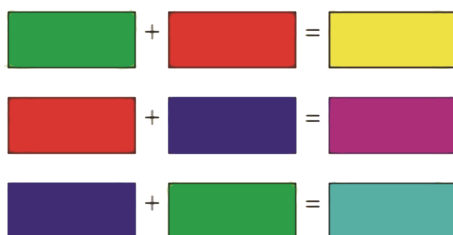
Dalším pojmem pro popis barev je **barevná sytost**. Čistě sytými barvami jsou spektrální barvy. Jejich sytost se rovná jedné. Při míchání barev, například s barvou bílou, dochází ke snížení sytosti. Sytost udává poměr čistě spektrální barvy. Nepestré barvy (bílá, černá, odstíny šedi) mají barevnou sytost rovnou nule.

Sluneční záření považujeme za bílé světlo. Pokud bychom z tohoto záření odfiltrovali oblast náležící modrému světlu, dostaneme záření žluté barvy (viz obr. 2.24 vlevo). Pokud bychom odfiltrovali červenou oblast záření, dostaneme modrozelenou barvu. Při odfiltrování zelené barvy dostaneme barvu purpurovou. Můžeme tedy vyvodit, že bílé světlo lze složit ze tří základních barev - červené, zelené, modré (RGB - Red, Green, Blue).



Obr. 2.24: Míchání tří základních barev a míchání doplňkových barev

Bílé světlo vznikne smícháním všech těchto tří barev, ale také dvou barev doplňkových vhodně smíchaných. Doplňkové barvy vznikají mícháním dvou základních barev (viz obr. 2.25), které byly zmiňovány (barevný prostor RGB).



Obr. 2.25: Míchání barev za účelem vytvoření doplňkových barev

Doplňkové barvy společně s černou barvou pak tvoří barevný prostor CMYK (Cyan, Magenta, Yellow, black). Černá barva se do tohoto prostoru doplňuje záměrně, protože při smíchání tří barev doplňkových nevznikne čistě černá barva (viz obr. 2.24 vpravo), ale barva tmavě šedá.

Jak již bylo zmiňováno, lidské oko vnímá záření aditivně. Nerozezná tedy původ bílého světla. Pokud jej vytvoříme pomocí RGB barev nebo pomocí doplňkových (komplementárních) barev, oko ho vždy vnímá stejně.

Barvy se dále označují za **teplé a studené**. Tyto pojmy shrnujeme pod jeden jako **teplota chromatičnosti** nebo **barevná teplota**. Tato teplota je dána absolutně černým tělesem, které když zahřejeme na danou teplotu, tak vydává záření právě v dané barvě na obr. 2.26. Teplota chromatičnosti se udává v Kelvinech (K).



Obr. 2.26: Teplota chromatičnosti

Teplé a studené barvy mají odlišný vliv i na psychiku člověka.

K popisu barevného vjemu lidského oka používáme pojem barevný podnět. Ten můžeme popsat jako poměr spektrální hustoty, jenž je vztažena k maximální hodnotě spektrální hustoty zářivého toku. [3]

$$\varphi_e(\lambda) = \frac{\left(\frac{d\phi_e(\lambda)}{d\lambda}\right)_\lambda}{\left(\frac{d\phi_e(\lambda)}{d\lambda}\right)_{\max}} \quad (2.48)$$

Při výpočtech se tento poměr násobí činitelem propustnosti τ nebo odraznosti ρ , které jsou vztaženy ke stejné vlnové délce a slouží k popisu barevných vlastností materiálů.

$$\varphi_{e\rho}(\lambda) = \varphi_e(\lambda) \cdot \rho(\lambda)$$

$$\varphi_{e\tau}(\lambda) = \varphi_e(\lambda) \cdot \tau(\lambda)$$

Trichromatická soustava

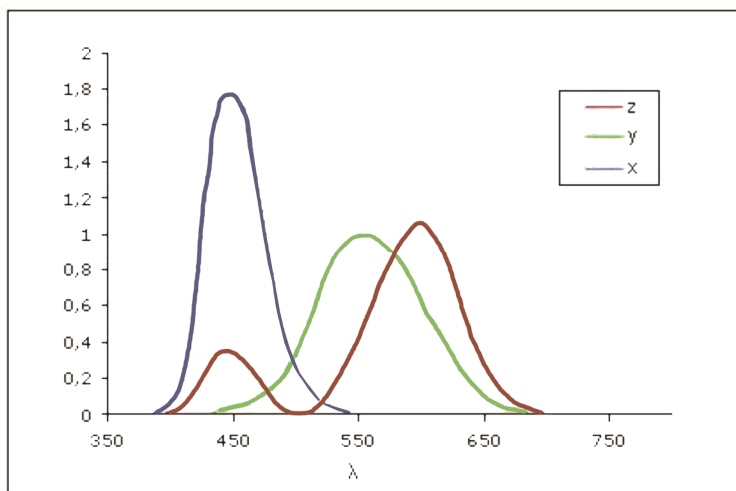
Trichromatická soustava byla vytvořena pro objektivní popis barev. Byla stanovena Mezinárodní komisí pro osvětlování CIE. Soustava se nazývá trichromatická, protože k vytvoření jakékoliv barvy je použito tří základních barev, které se míchají v různých poměrech. Soustavu definují tři barevné **členitele**, kteří se označují malými písmeny $x(\lambda)$, $y(\lambda)$, $z(\lambda)$ (viz obr. 2.27). Velkými písmeny X , Y , Z , pak značíme **trichromatické složky**. Ty udávají kolorimetrické množství všech tří barev, které vyvolají požadovaný barevný vjem. Pomocí poměrné spektrální hustoty z rovnice (2.48) můžeme určit trichromatické složky tak, že integrujeme součin hustoty zářivého toku a příslušného členitele.

$$X = \int_0^{\infty} \varphi_e(\lambda) \cdot x(\lambda) \cdot d\lambda$$

$$Y = \int_0^{\infty} \varphi_e(\lambda) \cdot y(\lambda) \cdot d\lambda$$
(2.49)

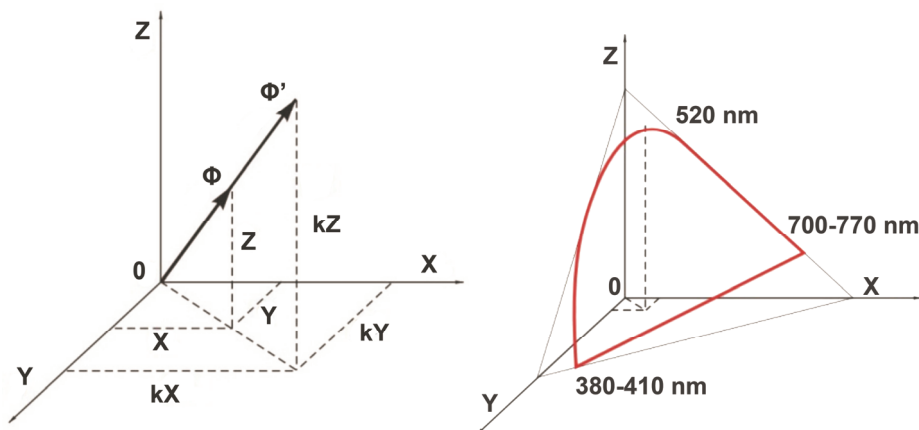
$$Z = \int_0^{\infty} \varphi_e(\lambda) \cdot z(\lambda) \cdot d\lambda \quad (2.49)$$

kde X, Y, Z představují trichromatické složky.



Obr. 2.27: Barevné členitele $x(\lambda)$, $y(\lambda)$, $z(\lambda)$ soustavy X, Y, Z

Barevný podnět je charakterizován barevným tónem, sytostí a intenzitou. Tyto tři údaje označené například X, Y, Z, se znázorní v třírozměrné soustavě souřadnic (viz obr. 2.28 vlevo).



Obr. 2.28: Zobrazení trichromatického trojúhelníku v prostoru [3]

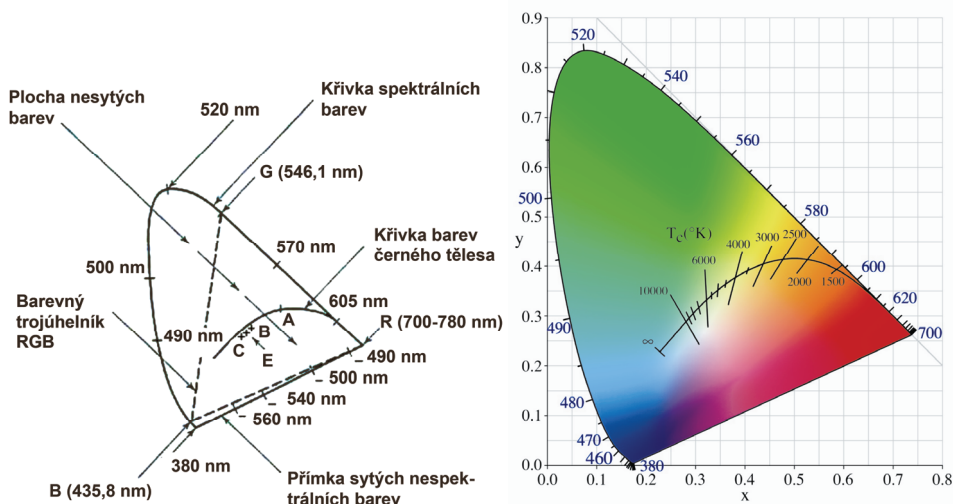
Intenzity všech barevných tónů jsou vyjádřeny přímkami, které procházejí počátkem 0. Intenzita barevného podnětu je dána součtem intenzit všech tří trichro-

matických složek ($X+Y+Z$). Na levém obr. 2.28 jsou znázorněny dva barevné podněty Φ a Φ' . Tyto dva vektory představují stejný barevný tón a sytost. Intenzita je $\Phi' = k\Phi$. Totéž pak platí i pro jednotlivé složky:

$$\begin{aligned} X' &= kX \\ Y' &= kY \\ Z' &= kZ \end{aligned} \tag{2.50}$$

Pokud v trojrozměrné soustavě vytžeme oblast, která na osách vytyčí stejné úseky (například plocha $X+Y+Z=1$), dostaneme v tomto prostoru kolorimetrický trojúhelník barev na obr. 2.28 vpravo. Křivka uvnitř trojúhelníku, která je v tomto obrázku zvýrazněna červeně, představuje čisté spektrální barvy. Každý bod na této křivce představuje jednu barvu. Pokud nebudeme uvažovat intenzitu, ale pouze barevný tón a sytost, pak je prostorové znázornění zbytečné a postačí, když diagram barev ($X+Y+Z=1$) promítáme do roviny x, y . Na obr. 2.29 je zobrazen takový diagram.

Křivka barev černého tělesa je zobrazena na obr. 2.29 a souhlasí s teplotou chromatičnosti, která je uvedena na obr. 2.26, avšak barvy jsou uvedené v opačném pořadí vzestupně v závislosti na rostoucí teplotě. Na stejné křivce se také nacházejí body A, B, C, E, které představují normalizovaná bílá světla. Světla A, B, C jsou normalizována mezinárodně a bílé světlo E je definováno národními normami. Také již výše zmíněná barevná sytost klesá směrem ke středu trojúhelníku a v bodě E je nulová.



Obr. 2.29: Kolorimetrický trojúhelník

Trichromatické souřadnice se značí malými písmeny (x, y, z) a určují jaký podíl má každá trichromatická složka pro vytvoření určité barvy. Součet všech tří souřadnic je roven jedničce. Určí se podle vztahů: (2.51)

$$\begin{aligned}
 x &= \frac{X}{X+Y+Z} \\
 y &= \frac{Y}{X+Y+Z} \\
 z &= \frac{Z}{X+Y+Z} \\
 x + y + z &= 1
 \end{aligned}
 \tag{2.51}$$

kde x , y , z jsou trichromatické souřadnice.

V trichromatické soustavě byla měrná světla X , Y , Z vytvořena tak, že hodnota členitele $y(\lambda)$ je shodná s poměrnou spektrální citlivostí $V(\lambda)$. V trichromatickém diagramu je tedy složka Y úměrná jasů barevného podnětu. Ten pak vypočítáme podle vzorce, kde Y představuje složku určenou z rovnice: (2.51).

$$L = 683 \cdot Y \tag{2.52}$$

kde L - jas barevného podnětu ($\text{cd} \cdot \text{m}^{-2}$); Y - trichromatická složka.

V praxi se k popisu barev používají diagramy, které mají barevné parametry rovnoměrně rozložené. Jsou to především mezinárodně uznávané diagramy CIE LUV (L^*u^*v) a CIE LAB (L^*a^*b). [3]

Všeobecný index podání barev

Lidské oko je přirozeně přizpůsobeno slunečnímu záření, případně záření tepelných zdrojů, jako jsou žárovky. Pod tímto světlem jsme zvyklí vnímat barvy. Pokud stejný předmět osvětlíme výbojovým zdrojem s odlišným spektrálním složením, může dojít ke špatné interpretaci barvy. Barevný vjem je ovlivněn spektrálním složením světla, které osvětluje předmět a spektrální odrazností $\rho(\lambda)$ nebo propustností $\tau(\lambda)$ materiálu. Také odlišná citlivost k jednotlivým barvám, úhel zorného pole a adaptace zraku může ovlivnit barevný vjem. Abychom určili jaký vliv na barevné vnímání má zdroj s odlišným spektrálním složením (výbojový zdroj) byl zaveden **všeobecný index podání barev R_a** . Ten vyjadřuje stupeň shodnosti vnímání barev předmětu pod daným zdrojem a pod smluvně stanoveným zdrojem „teplotní zdroj“. Index se udává v číselné podobě 0 - 100. Hodnota 100 představuje shodu v podání barev u teplotních zdrojů a při hodnotě 0 se barvy nedají rozlišit (např. u nízkotlakých sodíkových výbojek). Hodnocení probíhá na základě porovnání barevných vzorků (osmi až čtrnácti), na kterých je zjišťován rozdíl vnímání barev. Po zjištění těchto rozdílů se udává buď všeobecný index podání barev R_a , nebo **speciální index podání barev** ($R_1, R_2, R_3, \dots, R_{14}$) pro každý vzorek. Barevné vzorky sloužící jako etalon pro stanovení indexu, představují přesné dané barvy určené souřadnicemi dle CIE nebo dle Munsellova atlasu barev. Při měření indexu podání barev se počítá s tím, že teplota chromatičnosti zkoušeného a zkušebního světla je rozdílná maximálně o 5 MK^{-1} (megakelvinů). Megakelvin představuje převrácenou hodnotu teploty chromatičnosti T_C , vynásobenou 10^6 ($10^6/T_C$). Při teplotě 3000 K je tento rozdíl asi 50 K. Při měření při teplotě chromatičnosti do 5000 K se

používají teplotní zdroje světla a při teplotě nad 5000 K zdroje, jejichž záření odpovídá bílému světlu D. Na obr. 2.30 je udáván na štítku úsporných zářivek. Je udáván například v kódovém označení společně s teplotou chromatičnosti. Příklad na obrázku má index podání barev 80. [3]

Příkon ve W	20W/827	827 = 8 a 27 8 je hodnota podání barev 80 27 je hodnota barvy světla 2700K
Barva světla (teplá bílá)	Warm White	
	1230 lm	Světelný tok v lumenech
Životnost v hodinách	10000 h	
	220-240 V~	Síťové napětí
Typ patice	E27 50/60 Hz	Frekvence sítě

Obr. 2.30: Štítek úsporné zářivky

2.5. Literatura ke kapitole

- [1] Sokanský K. a kol.: Racionalizace v osvětlování venkovních prostor, ČSO RS Ostrava, 2005
- [2] INDALUX ILUMINACION TECNICA, s.l. Lighting engineering 2002: Control and lighting application. Valladolid, 2002. Dostupné z URL: <<http://www.indal.es/en/doctecnicaeng/lighting-engineering>>
- [3] Habel, J. a kol.: Světelná technika a osvětlování. Praha : FCC PUBLIC, 1995. s. 437. ISBN 800-901985-0-3.
- [4] Vaverka, J. a kol.: Denní osvětlení a oslunění budov. Praha : ERA, 2010. s. 271. ISBN 80-06517-33-0.
- [5] Plch, J.: Světelná technika v praxi. 1. vydání. Praha : IN-EL, 1999. s. 210. ISBN 80-86230-09-0

3. Zrakový systém, zrakové mechanismy

3.1. Popis zrakového systému

Zrak, jakožto jeden ze základních smyslů, umožňuje člověku získávat velké množství informací (80 ÷ 90 %) o prostředí, které ho obklopuje. Nositeli těchto informací jsou světelné a barevné podněty. Cílem vidění je poznání. Vidění je proces zahrnující jak příjem informace, tak její výběr a zpracování, včetně transformace optických podnětů v nervové vzruchy, které se zrakovým nervem vedou k mozkovým centrům vidění, kde vzniká zrakový počitek.

Zrakový systém je soubor orgánů, které zajišťují příjem, přenos a zpracování informace přinášené světelným podnětem v komplex nervových podráždění, jejichž výsledkem je zrakový vjem. Zrakový systém člověka se skládá zhruba ze tří částí. Periferní částí jsou oči, spojovací segment tvoří zrakové nervy a centrální oblast se skládá z podkorové a korové části mozku. [3]

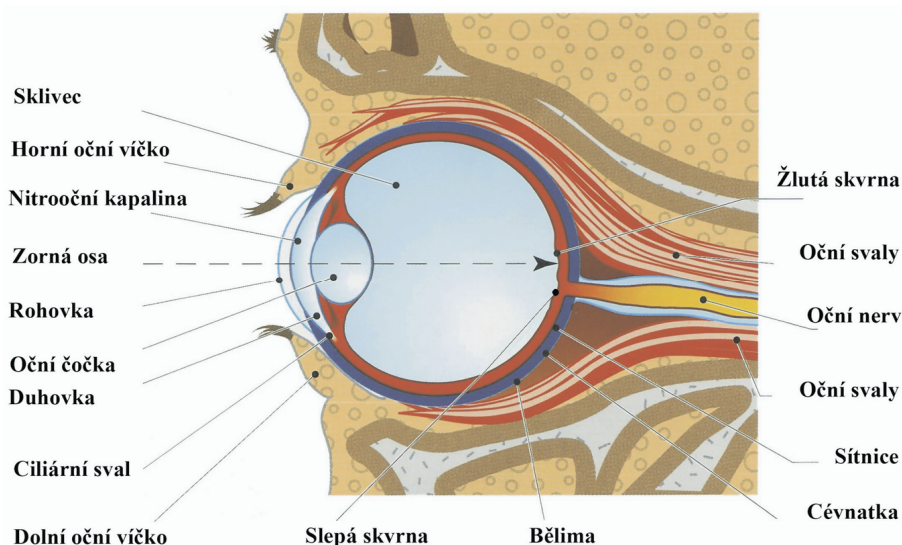
3.2. Stavba oka

Oko na obr. 3.1 je smyslový orgán, který zprostředkovává příjem informace o vnějším prostředí přenášený světlem a v němž se tato informace upravuje v nervová podráždění a do značné míry i zpracovává. Obě oči člověka jsou symetricky uloženy v lebce v tzv. očnicích.

Tvar oka je přibližně kulový, uzpůsobený pro snadné a rychlé otáčení v očnici. Oční bulva dospělého člověka má průměr asi 24 mm. Stěnu oka na obr. 3.1 v jeho zadní části tvoří tři vrstvy, a to bělma, cévnatka a sítnice. Bělma je neprůhledná, opálově bílá tkáň. Cévnatka je tvořena spleť krevních cév a vlásečnic. Od sítnice je cévnatka oddělena tenkou elastickou blánou, přes níž cévnatka sítnici vyživuje.

V přední části oka přechází bělma v průhledný pevný obal zvaný rohovka, kdežto cévnatka přechází jednak v tzv. řasnaté tělísko, na němž je zavěšena oční čočka, a jednak v duhovku. Mezi rohovkou a duhovkou je prostor (přední komora) vyplněný nitrooční tekutinou. Duhovka tvoří „mechanickou“ optickou clonu oka. Uprostřed duhovky je přibližně kruhový otvor – zornice, tudíž vstupuje do oka světlo. Průměr zorničky se mění v závislosti na smrštění či uvolnění hladkých svalů duhovky. Takto se upravuje množství světelného toku vstupujícího do oka. Za zornicí se nachází čočka, což je průzračné dvojbypuklé tělísko polotuhé pružné konzistence obalené pružným pouzdrům. V průběhu života člověka se čočka zvětšuje a její hmotnost narůstá. Mezi 10. a 20. rokem života je hmotnost čočky asi 150 mg, mezi 30. a 40. rokem asi 180 mg, a po 70-ti letech dokonce až 240 mg.

Vnitřní prostor oka vyplňuje bezbuněčná bezbarvá rosolovitá hmota – sklivec. V zadní části oka vystupuje oční nerv spojující sítnici s vyššími zrakovými nervovými centry v mozku. V místě, kde vstupuje oční nerv do sítnice, nejsou žádné nervové buňky, tedy ani fotoreceptory. Proto se toto místo nazývá slepá skvrna. Uprostřed sítnice je cév prostá oblast nazývaná žlutá skvrna. V prohloubené střední části žluté skvrny se nachází centrální jamka – fovea centralis o průměru cca 1,5 mm.



Obr. 3.1: Zrakový orgán [5]

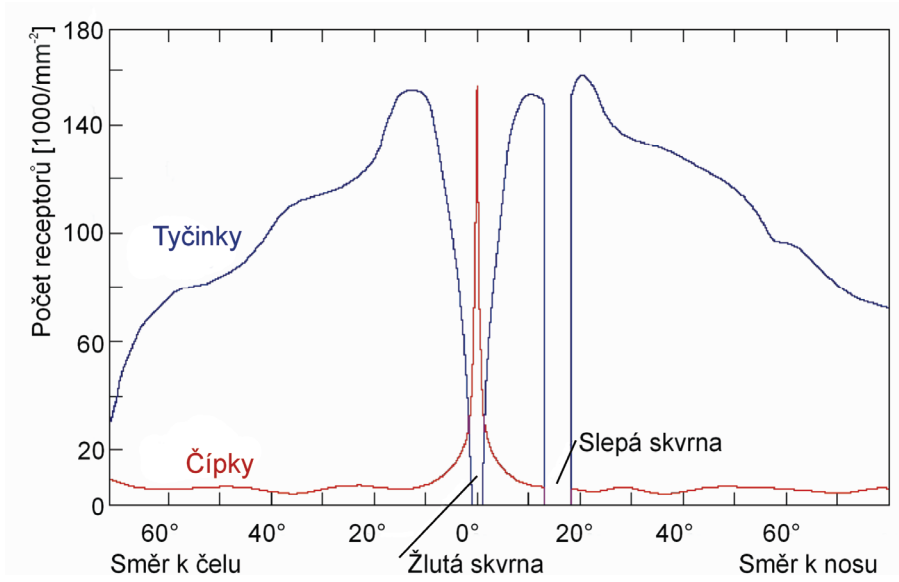
Zjednodušeně lze říci, že oko má dva systémy. Systém optický a systém nervový. Optická část zahrnuje rohovku, přední komoru s nitrooční kapalinou, duhovku se zorničkou, čočku a sklivec. Optická část umožňuje vytvářet na sítnici převrácený a zmenšený obraz vnějšího prostředí.

K nervovému systému oka, kromě nervového zásobení, náleží zejména sítnice, což je průsvitná poměrně tenká (přibližně 0,2 mm) blána s velmi složitou, ale pravidelnou buněčnou skladbou. Sítnice je členěna do jedenácti vrstev, v nichž je vedle fotoreceptorů rozmístěno mnoho dalších nervových buněk, včetně buněk gangliových. Systém nervových buněk sítnice je velmi komplikovaně provázán, díky čemuž může již v sítnici proběhnout první důmyslné zpracování a třídění informací, které jsou zachyceny fotoreceptory v podobě časových, prostorových, jasových i barevných rozdílů. Vybrané užitečné informace jsou zakódovány do podoby schopné přenosu prostřednictvím vláken zrakového nervu do vyšších úrovní zrakového systému a do mozkových center.

Z fotoreceptorů jsou běžně známy číčky, které se uplatňují převážně při denním – fotonickém vidění, a tyčinky, které se uplatňují převážně při nočním – skotopickém vidění. V sítnici je asi 6,5 milionů čípků a asi 125 milionů tyčinek hustěji umístěných při kraji sítnice. Centrální jamka, která je místem přímého vidění s největší rozlišovací schopností, obsahuje z fotoreceptorů pouze číčky (viz obr. 3.2). Oko v tomto místě dokáže rozlišit podrobnosti v řádu tisíce milimetru.

V oku se dále nachází třetí druh fotoreceptorů obvykle označovaných písmenem „C“. Jde o tzv. cirkadiánní čidla, jsou součástí gangliových buněk, která člověku zajišťují řízení mnoha biologických pochodů pravidelně kolísajících v cca 24 hodinovém cirkadiánním cyklu (viz kapitola 13.1.1). Zmíněný cyklus se vyvinul na základě pravidelného střídání světla a tmy v závislosti na otáčení Země kolem Slunce. Vyznačuje se aktivní fází ve dne a klidovou fází v noci. Řídí se jím většina biorytmů, např. tělesná teplota, krevní tlak, tepová frekvence, látkový metabolis-

mus, ladění organismu k práci či k odpočinku, ovlivňuje i imunitní, sexuální a další funkce. [3]



Obr. 3.2: Hustota a rozmístění fotoreceptorů na sítnici [2]

3.3. Činnost oka

Spojení mezi nervovými buňkami zrakového systému jsou na různých úrovních velmi složitá a vykazují i četné zpětné vazby mezi centrální částí a nervovými buňkami sítnice. Do oblasti zrakové části mozkové kůry přicházejí také nervová vlákna i z podkorových center jiných senzorů a jiných nezárkových oblastí kůry. Takováto vzájemná složitá propojení a vazby v centrální nervové soustavě jen potvrzují skutečnost, že osvětlení ovlivňuje nejen samotné zrakové vnímání, ale také množství dalších fyziologických a biologických funkcí a projevů organismu člověka a jeho celkový psychický stav, což ve svých důsledcích podmiňuje úroveň a kvalitu pracovního výkonu člověka.

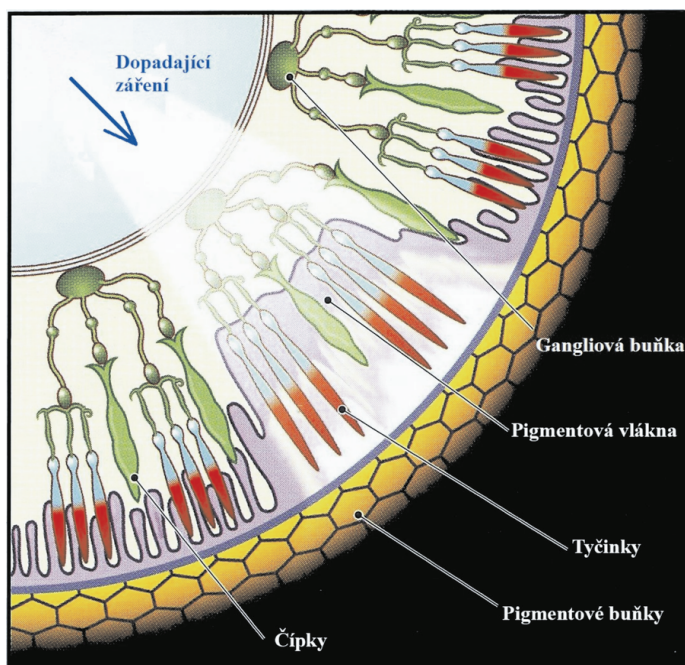
Podrobné výzkumy procesu zpracování a přenosu zrakové informace spojené s detailní analýzou informací, jež jsou přenášeny jednotlivými nervovými vlákny ve formě frekvenčně modulovaných impulzů prokázaly, že základní funkční jednotkou sítnice není jeden fotoreceptor, ale tzv. vjemové pole. Vjemové pole je část plochy sítnice přibližně kruhového tvaru, z níž lze podráždit jedno vlákno zrakového nervu, tj. jednu gangliovou buňku sítnice. Velikost vjemových polí se mění v závislosti jak na jasu světelného podnětu, tak i na stavu adaptace sítnice. Vjemová pole jsou funkční jednotky, které se mohou částečně i překrývat. V sítnici člověka existuje mnoho typů vjemových polí. U některých reaguje více střed pole na začátek podnětu a jeho okraje na konec podnětu. U jiných vjemových polí je reakce opačná. Další vjemová pole vykazují oba typy reakcí.

Gangliové buňky buď reagují po celou dobu trvání podnětu a zprostředkovávají informaci o kontrastech jasů či barev a o drobných detailech (což je důležité

z hlediska rozlišovací schopnosti), nebo jde o přechodné krátké reakce na změny osvětlení. Jedná se tedy o zprostředkování informace o časových změnách světelného podnětu (to je důležité z hlediska procesu adaptace).

Vjemová pole se liší i podle umístění v sítnici. V periférní části sítnice je s jednou gangliovou buňkou spojeno až tisíc receptorů. V oblasti centrální jamky (fovey), kde jsou čípky hustě nahromaděny, bývá jeden receptor (čípek) spojen s jednou gangliovou buňkou, což jistě podmiňuje rozlišovací schopnost zraku, která je v této části největší. I v této oblasti vedou nervová vlákna informaci do značné míry zpracovanou, zahrnující údaje o jasových rozdílech, barvách předmětů a jejich pohybech.

V sítnici oka člověka (viz obr. 3.3) existuje mnoho různých funkčních druhů a typů vjemových polí, jejichž reakce je ovlivňována nejen úrovní osvětlenosti, ale i trváním podnětu, jeho spektrálním složením i prostorovým a časovým rozložením. Mnohonásobné spoje mezi nejrůznějšími nervovými buňkami zahrnují i mnohé zpětné vazby, které rovněž významně ovlivňují výsledné vyhodnocení přijaté informace. [3]



Obr. 3.3: Základní stavba sítnice [5]

3.4. Akomodace a adaptace oka

Oko nedovede současně stejně ostře zobrazit na sítnici předměty nacházející se v různých vzdálenostech. Běžné oko hledící do dálky zobrazuje na sítnici ostře předměty umístěné teoreticky nekonečně daleko od oka, v praxi ve vzdálenosti větší než 6 m. Paprsky přenášející informaci o takto vzdálených předmětech dopadají do oka rovnoběžně. Paprsky, které přenášejí informaci o předmětech umístě-

ných blíže oku, vstupují do oka tak, že by ostré zobrazení předmětu zajistili až za sítnicí. Aby se blízké předměty mohly na sítnici zobrazit ostře, musí se optický systém oka přizpůsobit – akomodovat.

Akomodace oka je schopnost přizpůsobit lomivost optického prostředí oka vidění do blízka změnou zakřivení hlavně přední, ale i zadní stěny čočky, vyvolanou stahem ciliárního svalu – řasnatého tělíska. Nejbližší bod, který může plně akomodované oko vidět ostře, se nazývá blízký bod akomodace. Naproti tomu vzdálený bod se označuje nejdále umístěný bod, který dokáže oko přizpůsobené pro vidění do dálky vidět ještě ostře. S přibývajícím věkem se blízký bod oka vzdaluje. V patnácti letech je tento bod vzdálen asi 9 až 10 cm, ve třiceti letech asi 13 cm a v padesáti už přibližně 50 cm. Tím je dán rozsah akomodace, který se měří v dioptriích (D) a určuje se z rozdílu převrácených hodnot vzdáleností blízkého a vzdáleného bodu.

$$\text{Rozsah akomodace} = \frac{1}{r_1} - \frac{1}{r_2} \quad (3.1)$$

kde je rozsah akomodace (m); r_1 - vzdálenost blízkého bodu (m); r_2 - vzdálenost vzdáleného bodu (m).

U patnáctiletého člověka je akomodační rozsah přibližně 10 D, zatímco u padesátiletého jen 2 D. Krátkozraká starší osoba však může mít akomodační rozsah také 10 D, ale v rozmezí mezi 10 cm a 5 cm před okem. [3]

Přizpůsobení oka různým hladinám osvětleností se nazývá adaptace. Oko je schopno přizpůsobit se osvětleností svislé roviny proložené zornicí v rozmezí od 0,25 lx do 10^5 lx (avšak je schopno vnímat ještě při $2 \cdot 10^{-4}$ lx). Takto velkým změnám osvětlenosti se oko přizpůsobuje nejen změnou velikosti zornice, ale i změnou citlivosti fotoreceptorů sítnice a také změnou velikostí vjemových polí sítnice.

Průměr zornice se může měnit asi od 1,8 mm do 7,5 mm a plocha zornice se tedy může měnit přibližně v poměru 1 : 16 až 1 : 20. Změna průměru zornice trvá 360 až 380 ms, ale při náhlých změnách podnětu trvá změna jen 100 ms. Zvýšení hladiny osvětlenosti vede k zúžení zornice. Ženy, mladší osoby a lidé se světlou pleť mají zornice relativně širší. S přibývajícím věkem se průměrná velikost zornic zmenšuje.

Hlavním adaptačním mechanismem je však fotochemický děj – rozklad zrakových pigmentů (viz obr. 3.3) ve vnějších segmentech fotoreceptorů působením světla, resp. syntéza pigmentů vlivem tmy. V sítnici jsou čtyři druhy pigmentů. Tři z nich jsou vázány na čípky. Proto existují tři druhy čípků, z nichž každý obsahuje jiný pigment. Čtvrtý pigment, zrakový purpur - rodopsin, je vázán na tyčinky.

Rychlost rozpadu pigmentu závisí jak na parametrech předcházejícího osvětlení, jimž se oko přizpůsobilo, tak na jasu a vlnové délce nového světelného podnětu. Například rodopsin rychle bledne účinkem žlutozeleného, modrého, zeleného a žlutého světla a naopak nejpomaleji bledne vlivem světla červeného. Proto má-li se dosáhnout rychlejší adaptace na šero při zachování zrakové orientace (kino, divadlo), používají se červené brýle nebo se místnost osvětlí červeným světlem.

Regenerace fotopigmentů čípků ve tmě je podstatně rychlejší (asi 1,5 min) než u pigmentů tyčinek rodopsinu (5 min).

Při adaptaci oka z nižšího jasu na vyšší (tzv. adaptace na světlo) se vlivem rozkladu fotopigmentů zmenšuje citlivost fotoreceptorů. Děj je dokončen do jedné minuty a doznívá asi 10 minut. Adaptace z vyšší hodnoty jasu na nižší (tzv. adaptace na tmu) vyžaduje vytvoření zásob fotopigmentů, a proto trvá od několika minut při vysokých hladinách osvětlenosti až i hodinu při nízkých hladinách osvětlenosti.

Mnohem dokonalejším adaptačním mechanismem je zmenšování průměru vjemových polí sítnice při vysokých hladinách osvětlenosti, a naopak jejich zvětšování při nízkých hladinách osvětlenosti. Při dostatečně vysoké hladině osvětlení, tj. při denním světle, se z citlivých buněk sítnice uplatňují zejména čípky. Podle trojkomponentní teorie existují tři druhy čípků, které se vzájemně liší svou spektrální citlivostí k záření různých vlnových délek. Jeden druh je citlivý na záření v modré oblasti spektra, druhý na žlutozelené světlo a třetí na dlouhovlnné červené světlo. Tím je umožněno barevné vidění, které se uskutečňuje při jasech vyšších než $3 \text{ cd}\cdot\text{m}^{-2}$ a nazývá se vidění denní – fotopické.

Světlocitlivé buňky sítnice druhé skupiny, tj. tyčinky, jsou asi tisíckrát citlivější než čípky a uplatňují se při hladinách jasu nižších než $0,001 \text{ cd}\cdot\text{m}^{-2}$. Toto vidění se nazývá vidění noční – skotopické. Tyčinky nejsou citlivé na všechny barvy stejně. Nejcitlivější jsou na modrofialovou barvu, podstatně méně jsou citlivější na barvu červenožlutou. Proto se při malých jasech rozeznává modré světlo mnohem lépe než světlo červené tzv. Purkyňův jev.

V rozmezí jasů od $0,001$ do $10 \text{ cd}\cdot\text{m}^{-2}$ se při vidění uplatňují oba druhy receptorů a takové vidění se nazývá mezopické vidění. Přechod mezi fotopickým a skotopickým viděním je dalším adaptačním mechanismem oka.

K adaptačním mechanismům patří i důležitá adaptace na barvy, která zajišťuje určitou stálost vnímání barevných tónů i při poměrně velkých změnách spektrálního složení přírodního a určitého umělého světla.

Zrak člověka nepracuje staticky. Oči se neustále pohybují a obraz na sítnici se mění, a to s frekvencí asi pět obrázků za sekundu. Dojem o státnosti pozorovaného prostředí vzniká vlivem kompenzačních mechanismů, které ruší informace o změně způsobené pohybem očí, hlavy či těla. Jako časové změny takto člověk vnímá jen skutečné probíhající proměny ve vnějším prostředí.

Zrakový vjem nevzniká ani nezaniká současně s popudem, ale s určitým časovým zpožděním. Rychlost vnímání závisí na jasu předmětů v zorném poli a zvyšuje se s růstem jasu asi do $300 \text{ cd}\cdot\text{m}^{-2}$. Při jasu $0,15 \text{ cd}\cdot\text{m}^{-2}$ je doba potřebná ke vzniku vjemu asi 1 s, zatímco při jasu $1 \text{ cd}\cdot\text{m}^{-2}$ asi 0,5 s. Tato okolnost je důležitá zvláště pro osvětlení dopravních cest. Rychlost vnímání roste také se zvětšováním kontrastu jasů pozorovaného předmětu a pozadí. Trvání zrakového vjemu podstatně ovlivňuje intenzita podráždění a doba trvání světelného popudu.

V centrech nervové soustavy vyvolávají vytříbené, upravené a zpracované informace o světelných popudech dvě kvalitativně odlišné reakce. První probíhá nezávisle na vědomí člověka jako reflexní reakce celého organismu na určité dávky záření (vliv na metabolismus, krevní skladbu apod.) a současně jako adaptační a akomodační, popř. motorické přizpůsobení zrakového orgánu světelným vlivům.

Druhý komplex reakcí vyplývá ze zrakového vjemu, uvědomění si situace, a to za spoluúčasti jiných smyslových orgánů v souvislosti s poznatky z předcházejících dráždění i vzhledem ke zkušenostem zahrnutých v záznamech paměti. Uvědomění si určité vizuální informace o prostředí vyvolává také nervové impulzy v asociačních psychických zónách, které souvisejí s myšlením, citěním, pozorností, představivostí, vzrušením apod. Všechny tyto vlivy určují konečný postoj a reakci člověka na vizuální vjem. Funkce paměťových a pozornostních mechanismů je proto nezanedbatelnou součástí a podmínkou činnosti zraku. Tyto mechanismy patří k významným fyziologickým adaptačním mechanismům. [3]

3.5. Fotopické vidění

V běžném životě zrak člověka obvykle pracuje v podmínkách denního – fotopického vidění. To je spojeno zejména s činností čípků, fotoreceptorů, umožňujících barevné vidění, které jsou umístěny převážně v centrální části sítnice ve žluté skvrně. Nejčastěji se uvažuje hladina jasu přibližně $3 \text{ cd}\cdot\text{m}^{-2}$, jako spodní mez adaptačního jasu, od které probíhá proces denního vidění. V současnosti se světelnotechnické výpočty a rovněž fotometrická měření provádějí téměř výhradně pro podmínky denního vidění.

Citlivost zraku člověka k záření různých vlnových délek závisí na parametrech světelného mikroklimatu vytvořeného v osvětlovaném prostoru, a je tedy určována jasem, kterému se zrak pozorovatele přizpůsobuje. Běžně se světelnotechnické parametry světelných zdrojů, svítidel a osvětlovacích soustav fotometricky ověřují přístroji, jejichž poměrná spektrální citlivost se shoduje s dohodnutým průběhem poměrné spektrální citlivosti tzv. normálního fotometrického pozorovatele v podmínkách denního – fotopického vidění (viz obr. 3.4) poměrná křivka citlivosti pro denní vidění $V(\lambda)$. [1]

3.6. Skotopické vidění

Druhým krajním případem činnosti zraku člověka je noční – skotopické vidění. To je spojeno převážně s činností výrazně citlivějších fotoreceptorů – tyčinek, které jsou rozmístěny v okolí žluté skvrny a v dalších krajních oblastech sítnice. Noční vidění je většinou spojováno s velmi nízkými adaptačními jasy v řádech tisíců $\text{cd}\cdot\text{m}^{-2}$ maximálně setin $\text{cd}\cdot\text{m}^{-2}$. Na obr. 3.4 je také poměrná křivka citlivosti pro noční vidění $V'(\lambda)$. Maximální citlivost zraku pro skotopické vidění nastává při 507 nm. Z hlediska hodnocení osvětlovacích soustav v praxi tedy skotopické vidění nemá význam, protože nejnižší jasy dosahované umělým osvětlením (VO) jsou minimálně v oblasti desetin $\text{cd}\cdot\text{m}^{-2}$. [1]

3.7. Mezopické vidění

Práce zraku člověka v oblasti mezi denním a nočním viděním, kdy se zrakový orgán musí přizpůsobit jasům, které se nacházejí mezi oběma zmíněnými krajními případy, je v praxi obvyklá. Lze se s ní setkat např. v osvětlovacích soustavách venkovních komunikací nebo v soustavách nouzového osvětlení. V běžných vnitřních prostorech s umělým osvětlením jsou adaptační jasy většinou vyšší než $10 \text{ cd}\cdot\text{m}^{-2}$, a proto se průběhy poměrné spektrální citlivosti jen relativně málo liší od

křivky $V(\lambda)$. Výjimkou je případ nouzového osvětlení, kde jsou adaptační jasy výrazně nižší např. $0,1 \text{ cd}\cdot\text{m}^{-2}$.

Co se týče venkovních prostorů s umělým osvětlením, jsou adaptační jasy nižší (např. $0,05$ až $2 \text{ cd}\cdot\text{m}^{-2}$) než v běžných interiérech, neboť většinou nejde o prostory obklopené velkými světelně činnými plochami, které by podstatně ovlivňovaly hladiny adaptačního jasu. Proto se často zraková činnost ve venkovních prostorech odehrává v oblasti mezopického vidění. Typickým příkladem je vidění na uměle osvětlené komunikaci, kde mohou adaptační jasy být např. $0,3 \text{ cd}\cdot\text{m}^{-2}$.

V současné světelnětechnické praxi se počítá výhradně se světelně-technickými veličinami odpovídajícími podmínkám fotopického vidění. Tato skutečnost však ve zmíněných případech venkovního a nouzového osvětlení způsobuje jisté odchylky mezi subjektivním vjemem pozorovatele a objektivními hodnotami fotometrických veličin. Velikost odchylek souvisí s adaptačními podmínkami i se spektrálním složením záření použitých světelných zdrojů.

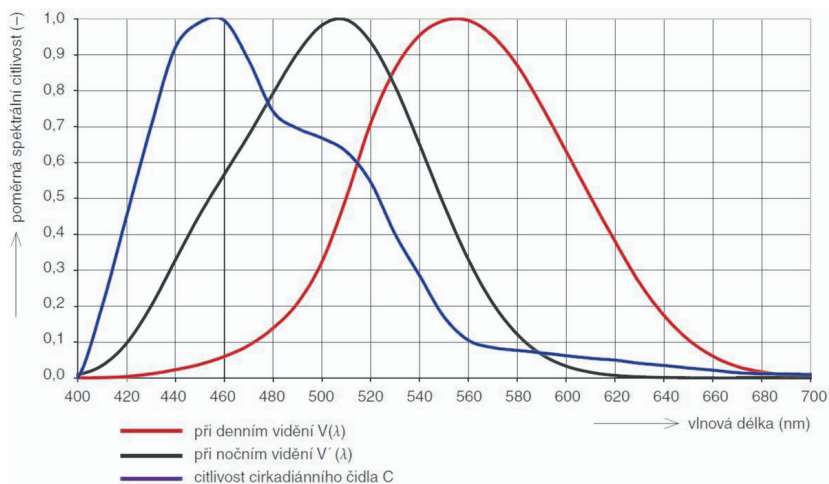
Složitost problematiky popisu vidění v mezopické oblasti navíc roste tím, že ve zmíněném světelném prostředí se nemění jen citlivost zraku člověka k záření různých vlnových délek, ale i další aspekty vidění, např. rozsah zorného pole. Tyto další aspekty výrazně ovlivňují hodnocení zrakových úkolů pozorovatelem. [1]

3.8. Spektrální citlivost oka

Zrakový orgán není stejně citlivý na záření různých vlnových délek. Průběh této závislosti i hranice viditelnosti jsou u různých osob odlišné. Nejvyšší citlivost oka při fotopickém denním vidění je určena citlivostí čípků a nejčastěji se při fotopickém vidění pohybuje okolo 555 nm . Citlivost se obvykle udává v poměrných hodnotách vztažených k maximální absolutní hodnotě citlivosti. Pro zajištění jednotnosti světelnětechnických výpočtů s ohledem na různou spektrální citlivost jednotlivých pozorovatelů přijala Mezinárodní komise pro osvětlování (CIE) dohodu o hodnotách poměrné spektrální citlivosti tzv. normálního fotometrického pozorovatele.

Průběh poměrné spektrální citlivosti oka normálního fotopického pozorovatele znázorňuje na obr. 3.4 červená křivka $V(\lambda)$ pro denní fotopické vidění při vysokém adaptačním jasu (dle CIE $100 \text{ cd}\cdot\text{m}^{-2}$) a černá křivka $V'(\lambda)$ pro noční skotopické vidění při velmi nízkém adaptačním jasu (podle CIE $10^{-5} \text{ cd}\cdot\text{m}^{-2}$). Maximum křivky $V'(\lambda)$ je posunuto ke kratším vlnovým délkám (507 nm), neboť při nízkých hladinách jasů se převážně uplatňují tyčinky. Z průběhů křivek na obr. 3.4 také vyplývá, že spektrální citlivost zraku je závislá na adaptačním jasu a že při přechodu od fotopického ke skotopickému vidění se snižuje jasnost červených ploch a naopak roste jasnost modrých ploch (tzv. Purkyňův jev).

Křivka spektrální citlivosti třetího druhu receptorů, tj. čidel cirkadiálního systému C gangliových buněk na obr. 3.4 modrá křivka, jak již bylo řečeno tyto receptory neslouží k vidění, ale k řízení biorytmů v těle, vykazuje maximum v oblasti vlnových délek 459 až 464 nm a v porovnání s křivkami spektrální citlivosti $V(\lambda)$, kdy se uplatňují především čípky, a $V'(\lambda)$, kdy se uplatňují převážně tyčinky, je citlivost receptorů C více soustředěna do oblasti ještě kratších vlnových délek. [4]



Obr. 3.4: Poměrná spektrální citlivost zraku pozorovatele [4]

U mezopického vidění při současné funkci obou druhů fotoreceptorů je definuje jejich poměr, jak se podílejí na procesu vidění. Tento poměr se nazývá S/P ratio. Jde o poměr mezi příspěvkem skotopického k fotopickému vidění.

$$S/P\ ratio = \frac{K'_m \int_0^\infty S_\lambda(\lambda) V'(\lambda) d\lambda}{K_m \int_0^\infty S_\lambda(\lambda) V(\lambda) d\lambda} \tag{3.2}$$

kde K_m - maximální hodnota spektrálního průběhu veličiny $K(\lambda)$, $683 \text{ lm}\cdot\text{W}^{-1}$; K'_m - maximální hodnota spektrálního průběhu veličiny $K'(\lambda)$, $1700 \text{ lm}\cdot\text{W}^{-1}$; S_λ - spektrální charakteristika světelného zdroje; $V(\lambda)$ - poměrná spektrální citlivost zraku pro fotopické vidění; $V'(\lambda)$ - poměrná spektrální citlivost zraku pro skotopické vidění.

Pro dodržení vnímaného mezopického jasů na určité hodnotě $X \text{ cd}\cdot\text{m}^{-2}$ je třeba dopočítat fotopické hodnoty jasů při různých S/P poměrech použitých zdrojů. Pro tento přepočítání doporučila mezinárodní komise pro osvětlování CIE používat systém Mes2 popisující průběh mezopické spektrální citlivosti.

S/P	Adaptační fotopický jas ($\text{cd}\cdot\text{m}^{-2}$)		
	0,03	0,3	3
0,65	-24 %	-10 %	-3 %
1,00	0 %	0 %	0 %
1,35	20 %	9 %	3 %
2,15	61 %	28 %	9 %

Tab. 3.1: Procentuální rozdíly mezi fotopickým jasem a vnímaným jasem při mezopickém vidění pro světelné zdroje s různým S/P poměrem [6]

Světelný zdroj	S/P ratio(-)	Pozn.
Nízkotlaká sodíková výbojka	0,25	-
Vysokotlaká sodíková výbojka	0,40-0,76	-
Zářivka – teple bílá	0,98	2 900 K
Teplotní zdroj	1,41	2 850 K
Teplotní zdroj	1,54	4 100 K
zářivka – studená bílá	1,58	5 000 K, triphosphor
zářivka – studená bílá	1,70	5 000 K, Ra 90
LED – neutrální bílá	1,68	4 180 K
Zářivka – denní	1,72-2,22	-
Indukční výbojka	1,83	4 866 K
LED – studená bílá	2.50	6 000 K

Tab. 3.2: Hodnoty S/P ratio pro různé světelné zdroje

Z tabulky lze vyvodit, jak se změní fotopický jas na mezopický jas při osvětlení komunikace různými světelnými zdroji.

Z tab. 3.1 a tab. 3.2 je zřejmé, že vysokotlaké sodíkové výbojky jsou ve veřejném osvětlení značně nadhodnocené, protože jejich fotopický světelný tok je výrazně vyšší než skotopický. Při běžných jasech ve veřejném osvětlení okolo hodnoty $0,5 \text{ cd}\cdot\text{m}^{-2}$ bude rozdíl světelného toku činit téměř 10 %.

3.9. Literatura ke kapitole

- [1] Habel J., Žák P.: Význam mezopického vidění pro praxi, Světlo – časopis pro světelnou techniku a osvětlování č. 6, FCC Public s. r. o., Praha, 2007.
- [2] Maňák, V.: Zrak. Fyziologie zrakového systému aplikovaná na hygienu osvětlování, I.díl. Brno 1977.
- [3] Habel J.: Základy světelné techniky (1), Světlo – časopis pro světelnou techniku a osvětlování č.5, FCC Public s. r. o., Praha, 2008.
- [4] Habel J.: Základy světelné techniky (2), Světlo – časopis pro světelnou techniku a osvětlování č. 6, FCC Public s. r. o., Praha, 2008.
- [5] INDALUX ILUMINACION TECNICA, s.l. Lighting engineering 2002: Control and lighting application. Valladolid, 2002. Dostupné z URL: <<http://www.indal.es/en/doctecnicaeng/lighting-engineering>>.
- [6] Gašparovský, D., Smola, A.: Návrh umělého osvetlenia interiérov a exteriérov, Bratislava: SEZ-KEZ, 2011. s. 262. ISBN 978-80-8106-046-5.

4. Parametry a vlastnosti světelných zdrojů a svítidel

4.1. Světelné zdroje

Světelné zdroje jsou základním prvkem osvětlovacích soustav. Z umělých zdrojů světla mají největší význam zdroje napájené elektrickou energií, tedy elektrické světelné zdroje. Na správné volbě světelného zdroje z velké části závisí, jak kvalitní a hospodárná bude celá osvětlovací soustava.

4.1.1. Základní parametry světelných zdrojů

K základním parametrům, které popisují vlastnosti světelných zdrojů, patří světelný tok, měrný výkon, náhradní teplota chromatičnosti, index podání barev a životnost. Tyto parametry si rozebereme podrobněji. Kromě nich jsou však důležité i geometrické rozměry, druh použité patice, dovolená provozní poloha světelného zdroje, napětí, provozní teplota zdroje atd.

Světelný tok Φ (lm)

Světelný tok představuje množství světla vyzářeného světelným zdrojem za jednotku času. Světelný tok závisí na druhu a typu světelného zdroje. Pro konkrétní typ světelného zdroje se tento údaj dá najít v katalogu nebo na obalu světelného zdroje. Jednotkou světelného toku je lumen (lm). Více v kapitole 2.2.1.

Náhradní teplota chromatičnosti T_c (K)

Používáme ji k popisu barevných vlastností světla; u teplotních světelných zdrojů (žárovek) odpovídá teplotě vlákna, u výbojových světelných zdrojů se používá pojem náhradní teplota chromatičnosti, která odpovídá ekvivalentnímu teplotnímu zdroji s podobným spektrálním složením, jaký má daný výbojový světelný zdroj. Přehled teplot chromatičnosti pro různé typy světelných zdrojů je v tab. 4.1.

Druh světelného zdroje	T_c (K)
Zářivka studené denní světlo	6 500 a více
Zářivka denní světlo	5 400
Jasná obloha	6 500
Slunce v létě v poledne	5 500
Zářivka studená bílá	4 000
Slunce při západu	3 500 ÷ 4 000
Žárovka, zářivka teple bílá	2 700
Plamen svíčky	1 800

Tab. 4.1: Teplota chromatičnosti a náhradní teplota chromatičnosti různých zdrojů světla

U světelných zdrojů rozlišujeme tři základní kategorie barvy světla v závislosti na teplotě chromatičnosti:

- teple bílá < 3 300 K,
- bílá 3 300 ÷ 5 000 K,
- denní > 5 000 K.

I když světelné zdroje mohou mít stejnou barvu světla, mohou vykazovat rozdílné podání barev, které závisí na spektrálním složení světla těchto zdrojů. Tyto vlastnosti popisujeme pomocí indexu podání barev.

Měrný výkon η ($\text{lm}\cdot\text{W}^{-1}$)

Představuje u světelného zdroje míru přeměny elektrické energie na světelnou, tedy definuje vztah mezi produkovaným světelným tokem a elektrickým příkonem světelného zdroje. Elektrický výkon P se přemění na světelný tok Φ , přičemž se zohledňuje to, jak oko vnímá světelné záření (viz kap. 2.2.2). Teoretické maximum vypočtené pro fotopické vidění je $683 \text{ lm}\cdot\text{W}^{-1}$, nejúčinnější světelné zdroje dosahují měrných výkonů až $200 \text{ lm}\cdot\text{W}^{-1}$. Přehled měrných výkonů různých typů světelných zdrojů je v tab. 4.2.

$$\eta = \frac{\Phi}{P} \quad (4.1)$$

kde η - měrný výkon ($\text{lm}\cdot\text{W}^{-1}$); Φ - světelný tok (lm); P - elektrický příkon (W).

Druh světelného zdroje	Příkon (W)	Měrný výkon ($\text{lm}\cdot\text{W}^{-1}$)
Žárovka	15 – 200	6 – 15
Halogenová žárovka	10 – 2000	14 – 26
Kompaktní zářivka	5 – 60	56 – 88
Lineární zářivka T8	10 – 58	65 – 90
Lineární zářivka T5	14 – 80	70 – 104
Indukční výbojky	50 – 400	70 – 93
Rtuťová výbojka	50 – 1 000	50 – 80
Vysokotlaká sodíková výbojka	50 – 1 000	88 – 150
Halogenidová výbojka	35 – 3 500	94 – 103
Nízkotlaká sodíková výbojka	18 – 180	130 – 200
Světelné diody	1 – 20	až 140
Xenonová výbojka	25 - 10 000	až 95
Plazmový světelný zdroj	až 250	až 85

Tab. 4.2: Přehled měrných výkonů běžně vyráběných světelných zdrojů

Všeobecný index podání barev R_a (-)

Hodnota indexu podání barev určuje, do jaké míry je člověk schopen při daném spektru záření daného světelného zdroje věrně vnímat barvy. Index R_a se získává průměrováním indexů podání 14 zkušebních barevných vzorků (viz kap. 2.4). Čím je hodnota indexu vyšší, tím lepší je podání barev. Nejvyšší hodnotu, z umělých zdrojů světla, dosahuje obyčejná žárovka ($R_a = 100$), nejnižší dosahují zdroje monochromatického záření, jako např. nízkotlaká sodíková výbojka ($R_a = 0$).

Životnost světelného zdroje (h)

Životnost světelných zdrojů je velmi důležitým parametrem, který nám říká, jak dlouho vydrží daný světelný zdroj hospodárně svítit. U žárovek je přitom životnost daná mezním stavem – přepálením vlákna. U jiných zdrojů, např. výbojových nebo LED, však s takovou definicí nevystačíme. Během funkčního života zářivky, výbojky nebo LED dochází zákonitě k poklesu světelného toku. Po určitém čase, i když ještě daný zdroj funguje, svítí neekonomicky a vyžaduje výměnu. Rozlišujeme tedy proto dvě definice životnosti:

- Průměrná životnost – průměr životností jednotlivých světelných zdrojů osvětlovací soustavy provozované za předem stanovených podmínek. Doba je daná časem, za který bude svítit přesně polovina ze sledovaného počtu světelných zdrojů, tedy míra výpadků dosáhne 50 %. Během trvání postupně dochází k úbytku funkčních světelných zdrojů, což vyjadřuje křivka mortality (úmrtnosti).
- Užitečná (ekonomická) životnost se definuje vzhledem k postupnému poklesu světelného toku zdrojů během života. Konec užitečného života se dosáhne tehdy, když světelný tok zdroje bude na úrovni 80 % počáteční hodnoty světelného toku (pro LED se často uvažuje 70 %).

Druh světelného zdroje	Průměrná životnost (h)	Užitečná životnost (h)
Obyčejné žárovky	1 000	1 000
Halogenové žárovky	2 000 – 3 000	2 000 – 3 000
Kompaktní zářivky	15 000	6 000 – 15 000
Lineární zářivky	20 000	10 000 – 18 000
Vysokotlaké rtuťové výbojky	16 000 – 24 000	10 000 – 20 000
Vysokotlaké sodíkové výbojky	32 000	20 000
Nízkotlaké sodíkové výbojky	16 000	16 000
Halogenidové výbojky	10 000	4 000
Indukční výbojky	60 000	20 000
Výkonové LED	50 000 – 100 000	25 000 – 50 000
Plazmové světelné zdroje	50 000	50 000
Xenonové výbojky	1 000 – 3 000	1 000 – 3 000

Tab. 4.3: Orientační životnosti pro různé typy světelných zdrojů

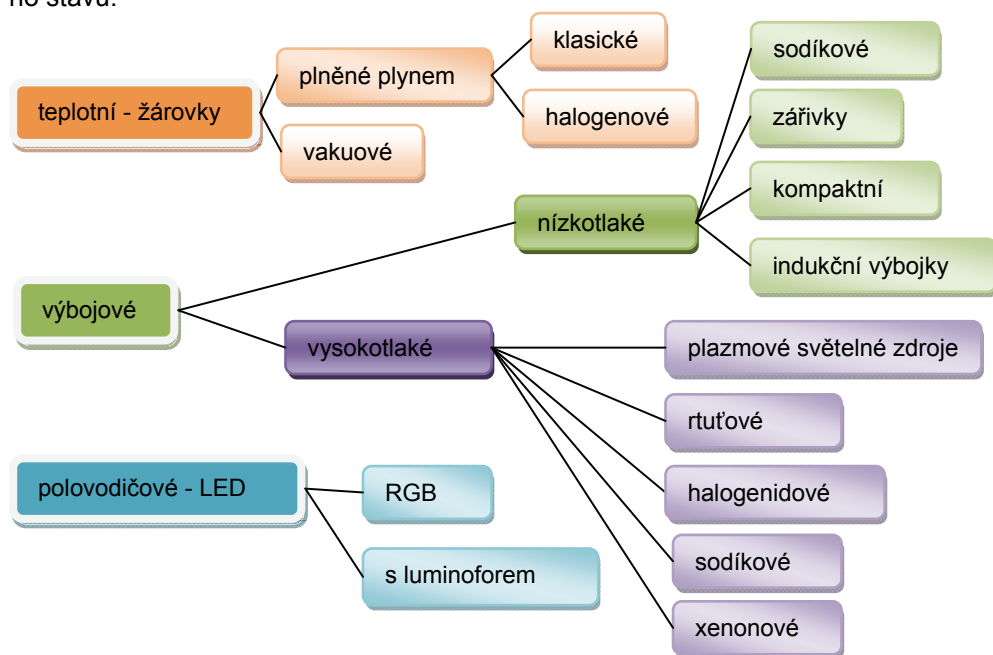
4.1.2. Třídění světelných zdrojů

Všeobecně můžeme elektrické světelné zdroje rozdělit do třech základních skupin, a to na teplotní (žárovky a halogenové žárovky), výbojové (zářivky či výbojky) a světelné diody (LED).

V teplotních světelných zdrojích dochází průchodem elektrického proudu k zahřátí vodivé látky (kovu) na vysokou teplotu a tato látka vysílá v důsledku tepelného pohybu optické záření.

Výbojové světelné zdroje jsou založené na principu elektrických výbojů v plynech a parách různých kovů a využívají přeměnu elektrické energie na kinetickou energii elektronů, která se při srážkách s atomy plynů mění na optické záření.

Světelné diody (LED) pracují na principu vyzařování energie v podobě fotonů při samovolném návratu elektronů z vybuzeného stavu do základního energetického stavu.



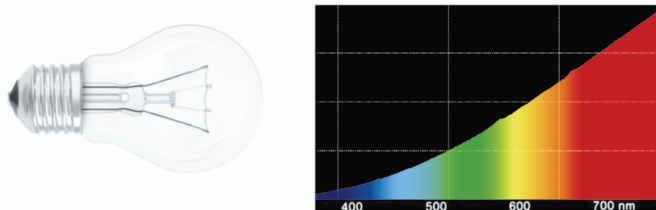
Žárovky a halogenové žárovky

Mezi výhody žárovek patří jejich jednoduchá konstrukce, malé rozměry a hmotnost, jednoduché napájení, nízká cena, okamžitý start, stabilní svícení během celé životnosti, spojité spektrum, index podání barev $R_a = 100$, široká škála příkonů a napětí, nezávislost na teplotě okolí a fakt, že neobsahují látky, které by enormně zatěžovaly životní prostředí. Nevýhody žárovek spočívají v malé životnosti, malém měrném výkonu a výrazné závislosti parametrů na stabilitě napájení – změna napětí o 1 % vyvolá změnu měrného výkonu o 3,6 %.

Odporovým vláknem žárovky, vyrobeným z wolframu, prochází elektrický proud, vznikají ztráty a elektrická energie se nejprve mění na teplo – vlákno se zahřívá. Vlákno zahřáté na vysokou teplotu se stává zdrojem záření. Z principu

Žárovka vyplývá, že až 95 % dodané elektrické energie se mění na teplo (odváděné záření v infračervené oblasti spektra, kondukcí a konvekcí) a jen zbylých 5 % se mění na světelné záření. Ačkoli jsou žárovky značně neekonomické, jsou však stále oblíbené a mají uplatnění hlavně tam, kde se svítí krátce.

Žárovky se vyrábějí v různých variantách tvaru baňky (obyčejné, svíčkové, kulové, tvarované, lineární), povrchového zpracování baňky (čiré, matné, opálové, reflektorové, barevné) i velikosti napájecího napětí či typu patice.



Obr. 4.1: Žárovka a příklad jejího spektra

Princip funkce **halogenových žárovek** je podobný principu obyčejných žárovek. Vylepšením je náplň s příměsí halogenních prvků ve vnitřním prostředí baňky (J, Br, Xe). V obyčejné žárovce se postupně ze zahřátého vlákna odpařuje wolfram a usazuje se na vnitřním povrchu baňky. Baňka je černá a propouští méně světla. Když se na některém místě vypaří wolfram nad kritickou hranici, příliš tenké vlákno se přepálí. Vypařování wolframu pomáhá zabráňovat tlak náplně plnicího plynu. Delší život je dán i halogenovým cyklem probíhajícím v žárovce: vypařený wolfram se slučuje s halogeny při nižší teplotě (u baňky), sloučenina se vlivem tepelného pole vrací na vlákno, kde se vlivem teploty vlákna rozkládá. Wolfram se na vláknu usazuje a halogen se vrací k povrchu baňky a cyklus se opakuje.

Výhody halogenových žárovek (oproti žárovkám):

- baňka nečerná a má stabilní světelný tok během celé životnosti,
- vyšší měrný výkon až $26 \text{ lm}\cdot\text{W}^{-1}$,
- delší životnost,
- velká odolnost vůči teplotním změnám,
- vyšší teplota chromatičnosti,
- malý průměr baňky (vyšší tlak plynů, menší rychlost odpařování wolframu).

Baňky moderních halogenových žárovek se pokrývají selektivním filtrem (tzv. IRC technologie), který část infračerveného záření vrací zpět na vlákno. Měrný výkon se takto zvyšuje až o 25 %.

V praxi se nejčastěji používají halogenové žárovky na malé napětí, často už jako komplet s malým reflektorem.

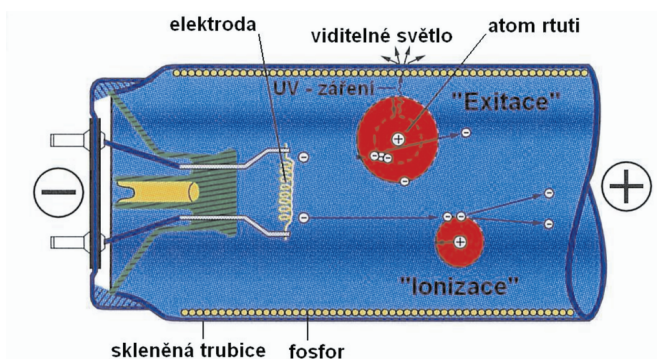
Současné trendy vývoje halogenových žárovek:

- použití multivrstev s cílem zvýšení měrného výkonu,

- dávkování xenonu do baňky halogenové žárovky,
- dotace „certit“ - do křemenného skla baňky na potlačení UV záření,
- vývoj halogenových žárovek na síťové napětí,
- výroba a aplikace různých tvarů baněk pro různé směry využití,
- ovlivňování teploty chromatičnosti dichroickými reflektory (např. změna T_c na cca 4 000 K) – bílá barva světla i při použití halogenových žárovek,
- vývoj nízkotlakých halogenových žárovek,
- miniaturizace baněk a celých halogenových žárovek.

Zářivky a kompaktní zářivky

Zářivky jsou nízkotlaké rtuťové výbojky, které vyzařují hlavně v oblasti ultrafialového záření. Toto se transformuje ve viditelné záření pomocí luminoforu. Princip funkce zářivek ve skleněné trubici jsou vlivem elektrického pole mezi elektrodami vybudeny páry rtuti, ve kterých dochází k emisi neviditelného UV záření. Speciální látka, luminofor, nanesený na vnitřním povrchu skleněné trubice přeměňuje neviditelné UV záření na světlo. Volbou luminoforu je možné ovlivnit spektrum světla vyzařované zářivkou.



Obr. 4.2: Princip funkce zářivek

Jako všechny výbojky se ani zářivky neobejdou bez předřadných přístrojů. Po zapálení výboje je napětí na zářivce nižší než síťové napětí. V případě použití magnetického předřadníku se na tlumivce vytvoří úbytek napětí, který omezí proud tekoucí zářivkou, v případě použití elektronického předřadníku je proud zářivky řízen elektronickými obvody.

Zářivky typu T5 mají průměr trubice 16 mm, jsou kratší než standardní trubice T8 s průměrem 26 mm. Nabízejí vyšší měrný výkon až $104 \text{ lm} \cdot \text{W}^{-1}$ a jsou určeny pouze pro provoz s elektronickými předřadníky. Zářivky T5 dosahují úspor oproti zářivkám T8 v následujících oblastech:

- vyšší měrný výkon zářivek T5 s elektronickým předřadníkem,
- vyšší účinnosti svítidel vlivem nižšího odstínění o 40 % štíhlejší zářivky,

- se zářivkami T5 je možné konstruovat subtilnější svítidla, z čehož plynou další materiálové úspory.

Životnost zářivek je silně ovlivněna počtem zapnutí. Nehodí se proto tam, kde dochází k častému zapínání a vypínání. Podle způsobu provozu se mění i doba života zářivek. Při provozu s klasickým předřadníkem se životnost zářivky pohybuje okolo 10 000 h, zatímco při provozu s elektronickým předřadníkem se pohybuje okolo 18 000 h.

Na rozdíl od žárovek, u kterých světelný tok dosahuje jmenovité hodnoty téměř okamžitě, zářivky dosahují jmenovité hodnoty až po cca 3 min provozu. Zářivky jsou také velmi teplotně závislé, a proto se nehodí pro osvětlování venkovních prostorů. Zářivky lze pomocí elektronického předřadníku stmívat v rozsahu 1-100 % světelného toku.

Zářivky se vyrábějí v širokém spektru náhradních teplot chromatičnosti od 2 700 do 8 000 K a s indexem podání barev 60 - 98. Existují i speciální zářivky barevné, s prodlouženou servisní životností až 75 000 h nebo s upraveným spektrem pro pěstování rostlin, chov zvířat a další.



Obr. 4.3: Lineární zářivka T8 a příklad jejího spektra

Kompaktní zářivky jsou principem shodné s lineárními zářivkami. Jejich trubice jsou však ohnuty nebo zatočeny pro dosažení kompaktnějších rozměrů. Kompaktní zářivky se vyskytují jak s integrovaným elektronickým předřadníkem, tak bez předřadníku (ten je vestavěn ve svítidle). Existují i stmívatelné varianty na napětí 12 V pro provoz v ostrovních systémech nízkého napětí a karavanech. Měrný výkon kompaktních zářivek je nižší (maximálně cca $88 \text{ lm}\cdot\text{W}^{-1}$) a to kvůli vlastnímu stínění trubic a patice atd.

Indukční výbojky

Indukční výbojky jsou, stejně jako zářivky, nízkotlaké rtuťové výbojky. Na rozdíl od zářivek nemají elektrody a k zapálení a hoření výboje slouží vysokofrekvenční elektromagnetické pole vyrobené cívkou (cívkami). Používají se výhradně s elektronickým předřadníkem.

Výhody indukčních výbojek:

- dlouhá životnost více než 60 000 h (nedochází k opalování elektrod),
- malý úbytek světelného toku za dobu svícení,
- rychlý náběh světelného toku po zapnutí nebo restartu a na rozdíl od vysokotlakých výbojek možnost okamžitého znovuzápalu,
- vysoký měrný výkon až $93 \text{ lm}\cdot\text{W}^{-1}$.

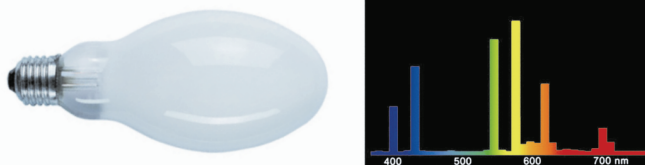
Indukční výbojky se používají v prostorech s vysokou náročností výměny světelných zdrojů (osvětlení tunelů, průmyslových hal, mostů apod). Protože jsou rozměry většiny indukčních výbojek relativně velké, je účinnost svítidel měnících prostorové rozložení světelného toku nízká z důvodu pohlcení části světelného toku světelným zdrojem.



Obr. 4.4: Indukční výbojka Osram Endura (cívka po obvodu) a Philips QL (cívka uvnitř baňky)

Vysokotlaké rtuťové výbojky

Viditelné záření vzniká u těchto zdrojů obloukovým výbojem v parách rtuti při tlaku 0,1 MPa ve výbojové trubici z křemenného skla. Vysokotlaké rtuťové výbojky vyzařují přímo ve viditelné oblasti asi 15 % přivedené energie a jejich světlo je modrobílé až modrozelené. Záření UV, hlavně na vlnové délce 365 nm, je nutné pomocí luminoforu transformovat do viditelné oblasti.

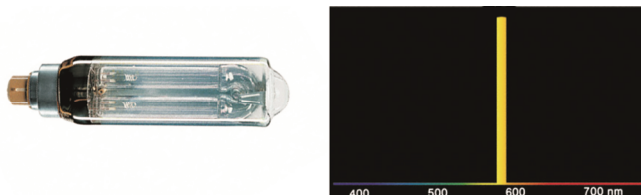


Obr. 4.5: Rtuťová výbojka a příklad jejího spektra

Červená složka světla chybí a z tohoto důvodu se nanáší na vnitřní stěnu venkovní baňky ortofosfátový luminofor pro zabezpečení transformace zbylého UV záření do červené oblasti spektra. K ustálení výboje rtuťových výbojek dochází až po 3 - 5 minutách. Po přerušení výboje dojde k opětovnému znovuzapálení až po 7 minutách. Výhodou těchto výbojek je malý pokles světelného toku během života, odolnost proti změnám teploty a otřesům. Životnost je 12 000 až 15 000 h, index podání barev $R_a = 60$, měrný výkon 50 až $80 \text{ lm} \cdot \text{W}^{-1}$. Výbojky se nehodí k osvětlování vnitřních prostorů z důvodu nízkého R_a a delší doby opětovného znovuzapálení. Z osvětlování průmyslových prostorů, ulic a sportovišť je vytlačily vysokotlaké sodíkové výbojky s vyšším měrným výkonem. De facto jsou již nahrazeny ve všech oblastech jejich použití jinými světelnými zdroji (kvalitnějšími, efektivnějšími) a v nových osvětlovacích soustavách se již nenasazují. V současné době se ještě používají směšové výbojky, světelné zdroje kombinující žárovku s rtuťovou výbojkou, které nepotřebují předřadnou tlumivku.

Nízkotlaké sodíkové výbojky

U nízkotlakých sodíkových výbojek vzniká primární výboj, ve výbojové trubici vyrobené z boritého skla, v plynném argonu a neonu, výboj má klasickou neonovou barvu. Až po určité době, kdy sodík přejde do plynného skupenství, při tlaku sodíkových par 0,5 Pa a teplotě stěny výbojové trubice cca 300°C, se vyzáří monochromatické záření v pásmu vlnových délek 589 a 589,6 nm - ve žluté oblasti spektra. Záření sodíkové výbojky je v blízkosti maxima spektrální citlivosti lidského oka, také proto je její měrný výkon 130 až 200 lm·W⁻¹. V jejich světle není možné rozlišovat barvy (Ra = 0), životnost výbojky dosahuje až 24 000 h.



Obr. 4.6: Nízkotlaká sodíková výbojka a její spektrum vyzařování

Přes značný pokrok a zlepšení jejich užitečných parametrů se jejich použití, v důsledku velmi špatného podání barev, omezilo na osvětlení silnic a dálnic. V současné době jsou rozšířeny zejména v zemích Beneluxu a ve Velké Británii. V naší republice, až na vzácné výjimky, nenašlo osvětlení nízkotlakými sodíkovými výbojkami velké uplatnění a vzhledem ke stále se zlepšujícím parametrům vysokotlakých sodíkových výbojek se s jejich rozšířením dále nepočítá.

Vysokotlaké sodíkové výbojky

Výboj v parách sodíku se vyznačuje intenzivním rezonančním dubletem, jako u nízkotlaké sodíkové výbojky, ve žluté části viditelného spektra s vlnovou délkou 589,0 a 589,6 nm. Těchto vlastností se využívá již od třicátých let při konstrukci nízkotlakých sodíkových výbojek. Se snižováním objemu výbojového prostoru se zvyšuje tlak par sodíku, až při tlaku cca 27 kPa dosahuje maxima a v závislosti na dalších parametrech (složení amalgamu sodíku, druh a tlak plnicího plynu, geometrické parametry hořáku, příkon výbojky apod.) a může dosáhnout hodnoty až 150 lm·W⁻¹. Výbojový prostor u tohoto zdroje musí být vyroben z polykrystalického anebo monokrystalického oxidu hlinitého (syntetický korund). Při rostoucím tlaku par sodíku dochází k výraznému rozšíření spektrálního vyzařování a ke vzniku silného spojitého záření, přičemž zároveň je absorbováno záření rezonanční. Se zvyšujícím se tlakem roste vyzařování do dlouhovlnné části spektra, spektrum záření je bohatší, což má za následek i lepší podání barev osvětlovaných předmětů. Tento druh výboje je využíván u moderních vysokotlakých sodíkových výbojek, které se výrazně prosadily zejména ve veřejném osvětlení.

Sortiment vysokotlakých sodíkových výbojek je velmi široký, příkony se pohybují od 50 do 1 000 W. Index podání barev u těchto zdrojů se pohybuje okolo 25. Výbojka neumožňuje teplý znovuzápal a lze ji rozsvítit až po jejím vychladnutí. Na jmenovitý světelný tok nabíhá až po cca 5 minutách. V oblasti rozsahu venkovních teplot nedochází ke kolísání světelného toku.

Vysokotlaké sodíkové výbojky je nutné provozovat v obvodu s tlumivkou a vhodným zapalovacím zařízením. Při dodržování provozních podmínek (povolené kolísání napětí menší než 5 %, správně dimenzované tlumivky) výbojky předních výrobců dosahují životnosti až 30 000 h. Ukončení života je dáno postupným nárůstem napětí na výboji. Při překročení určitého poměru tohoto napětí vzhledem k napájecímu napětí sítě výboj zhasne. Po vychladnutí se výboj znovu zapálí a celý cyklus se opakuje. Periodické zhasínání výbojek je příznakem konce životnosti a výbojku je nutné vyměnit.



Obr. 4.7: Vysokotlaká sodíková výbojka a příklad jejího spektra

Vysokotlaké sodíkové výbojky do osvětlovací praxe přinesly významné úspory elektrické energie, také proto je podíl vysokotlakých sodíkových výbojek ve veřejném osvětlení dominantní. Vysokotlaké sodíkové výbojky mají ve VO univerzální použití: jsou vhodné pro osvětlování veškerých komunikací, pěších zón i osvětlování fasád objektů. Určitou nevýhodou těchto zdrojů je horší barevné podání osvětlovaných předmětů. Pro VO se používají sodíkové vysokotlaké výbojky nízkých příkonů, v obcích 50 – 70 W, ve městech do 150 W, na velkých komunikacích 150 - 250 W, vyšší příkony lze použít na osvětlování fasád budov a vnitřních i venkovních skladovacích ploch bez trvalého pobytu osob (250 – 1 000 W).

Halogenidové výbojky

Viditelné záření zde vzniká jednak v parách rtuti, ale hlavně zářením produktů halogenidů (90 % záření), to je sloučenin halových prvků např. s galiem, thaliem, sodíkem apod. Toto vede ke zvýšení indexu podání barev až na $R_a = 90$ a měrného výkonu až na $130 \text{ lm} \cdot \text{W}^{-1}$.

V hořáku z křemene nebo keramiky vzniká cyklus podobný regeneračnímu cyklu jako u halogenových žárovek. Venkovní baňka je z borosilikátového skla. Halogenidové výbojky pracují při venkovní teplotě -20 až 60°C. Životnost těchto výbojek dosahuje až 15 000 h.



Obr. 4.8: Halogenidová výbojka a příklad jejího spektra

Halogenidové výbojky vyžadují zapalovač. Výkonová řada začíná na 35 W a končí na 3 500 W, výbojky se vyrábějí s různými tvary baňky a typy patice. Na jmenovité parametry nabíhá výbojka asi za 10 min, podle velikosti a příkonu.

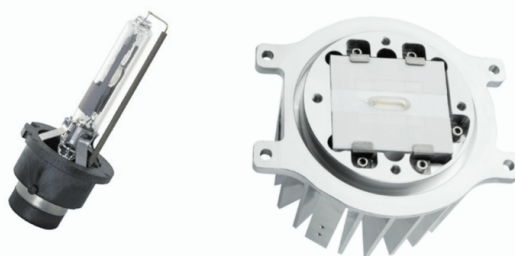
Halogenidové výbojky se, přes vysokou cenu, začínají prosazovat hlavně tam, kde jsou vysoké požadavky na barevné podání. Halogenidové výbojky menších příkonů se používají při osvětlování výkladů a obchodních prostor, muzeí i výstavních sálů. Větší příkony se uplatňují v osvětlování výstavišť, sportovišť, dopravních uzlů a v průmyslu.

Xenonové výbojky

Xenonové výbojky jsou vysokotlaké výbojky používané dnes hlavně v automobilových světlometech nebo v projekční a osvětlovací technice. Xenonové výbojky potřebují pro zážeh výboje vysokonapěťový impuls (přes 20 kV), provozní napětí na výboji je u většiny typů výbojek pro automobily cca 85 V / 100 Hz, proto je třeba pro jejich připojení speciální měnič. Výbojky pro osvětlování v osvětlovací technice bývají v trubicovém provedení, mohou mít příkon až 10 kW a jsou chlazeny vzduchem nebo vodou. Náhradní teplota chromatičnosti je nejčastěji v rozmezí 4 000 – 12 000 K a spektrum vyzařování je podobné dennímu světlu, měrný výkon je až $95 \text{ lm}\cdot\text{W}^{-1}$ a životnost cca 2 500 h.

Plazmový světelný zdroj

Od roku 2007 je ve vývoji nový typ výbojového zdroje - plazmový světelný zdroj. V malém hořáku, který je naplněn směsí halogenidů, je zapálen bezkontaktně vysokofrekvenčním mikrovlnným zdrojem. Bezelektrodová konstrukce umožňuje dlouhou životnost až 50 000 hodin a znovuzápal po 60 sekundách. Podle náplně hořáku se Ra pohybuje mezi 80 - 95 a měrný výkon dosahuje $85 \text{ lm}\cdot\text{W}^{-1}$. Světelný tok je podle typu 2 – 20 klm. Tyto výbojky se již používají ve svítidlech pro sportoviště, projekční techniku nebo lékařství.



Obr. 4.9: Xenonová výbojka a plazmový světelný zdroj

Světelné diody - LED

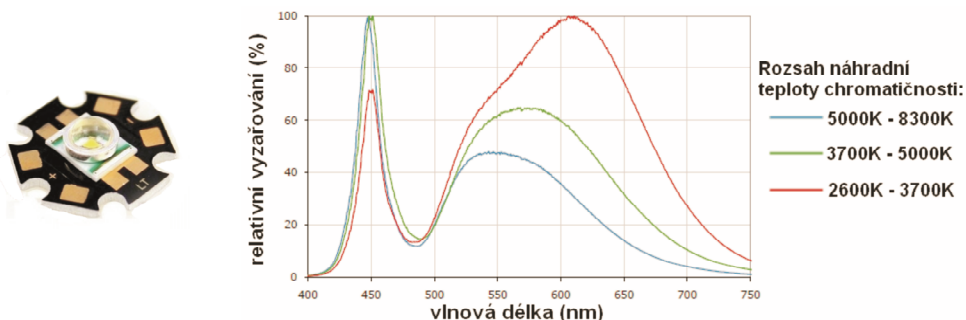
LED se v posledních letech ve stále větší míře využívají ve všech oblastech osvětlovací techniky. Za své rozšíření vděčí především rostoucímu měrnému výkonu. Světelné diody představují elektronický prvek, který generuje světelné záření při průchodu proudu polovodičovým přechodem. Používá tedy jiný fyzikální princip než žárovky nebo výbojky a má mnoho vlastností, kterými se od předchozích klasických zdrojů světla odlišuje. Polovodičový přechod vyzařuje velmi úzké spektrum. Primární záření je v podstatě monochromatické. LED jsou již dnes vysoce účinný světelný zdroj, který se prosazuje namísto konvenčních světelných zdrojů. Technologie LED má velký potenciál rozvoje do budoucna.

Generování bílého světla

Světlo je vnímáno jako bílé, jestliže jsou tři typy čípků na sítnici oka vybudeny v určitém poměru. V případě bílého světla jsou trichromatické složky lokalizovány v blízkosti centra trichromatického trojúhelníku - viz obr. 2.29. Generovat bílé světlo pomocí LED je možné principiálně dvěma způsoby:

- mísení monochromatických LED – bílé světlo lze získat mísením několika komplementárních vlnových délek určitého výkonového poměru. Mísení lze, v závislosti na požadavcích na kvalitu světla. Mísením dvou vlnových délek vznikne dichromatický zdroj. Mísením tří monochromatických LED zářičů (např. RGB), vznikne trichromatický světelný zdroj. Zvyšováním počtu monochromatických složek se zvyšuje kvalita barevného podání výsledného bílého světla.
- konvertor vlnových délek – při primárním vyzařování na kratší vlnové délce (nejčastěji v modré oblasti) je část světla absorbována v konvertorovém materiálu a znovu vyzařena jako světelné záření s delší vlnovou délkou. Nejpoužívanější konvertory vlnových délek jsou na bázi fosforu.

Typickým představitelem je bílá LED založená na modrém LED čipu (GaInN/GaN) a fosforovém konvertoru. Záření ve viditelné oblasti, které je vyzařováno z polovodiče, je modré barvy. Část světla je distribuována přímo k pozorovateli a část krátkovlnných fotonů je v prostoru zapouzdření (fosforová vrstva) absorbována a znovu emitována s delší vlnovou délkou ve žlutém spektru. Vyzařované spektrum se skládá z luminiscence modrého světla a fosforescence světla žlutého. Nastavováním vzájemného poměru luminiscence a fosforescence lze optimalizovat nejen náhradní teplotu chromatičnosti, ale také měrný výkon (se vzrůstající T_C klesá) a index podání barev (s klesající T_C roste).



Obr. 4.10: Bílá LED a typická spektra LED s fosforovým luminoforem

Na obr. 4.10 jsou zobrazena typická spektra bílých LED. LED jsou v současnosti stále v procesu vývoje a jejich měrný výkon stále roste. Po ukončení vývoje se očekává, že měrné výkony těchto světelných zdrojů se budou pohybovat až nad oblastí $200 \text{ lm} \cdot \text{W}^{-1}$. Vzhledem k minimálnímu výskytu červené barvy ve vyzařovaném spektru se jako jeden z hlavních problémů LED jeví dosažení

vysokého indexu podání barev. Současné technologie ale umožňují dosahování Ra lepšího než 90.

Největším problémem LED je v současnosti odvod tepla z oblasti PN přechodu. Z tohoto důvodu se pohybují jednotlivé zdroje v oblasti příkonů jednotek wattů. Dalším problémem spojeným s odvodem tepla z PN přechodu je snižování světelného toku a životnosti se zvyšující se teplotou přechodu. Naproti tomu mají LED proti klasickým světelným zdrojům nezanedbatelné výhody v jednodušším směřování a rychlejším náběhu světelného toku, mechanické odolnosti a nezávislosti životnosti na spínání a stmívání. K napájení se používá malé stejnosměrné napětí. LED se kvůli své Volt-Ampérové (VA) charakteristice řídí proudem.

4.2. Svítidla

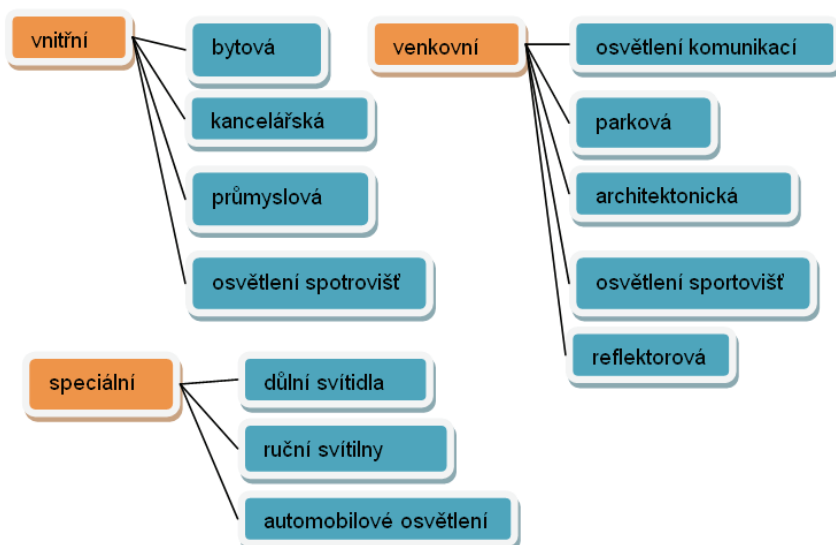
Svítidla jsou zařízení, která rozdělují, filtrují nebo mění světlo vyzařované jedním nebo více světelnými zdroji a obsahují, kromě světelných zdrojů samotných, všechny díly nutné pro upevnění a ochranu zdrojů a v případě potřeby pomocné obvody, včetně prostředků pro jejich připojení k síti.

Světelně činné části svítidel slouží ke změně rozložení, usměrnění nebo rozptýlení světelného toku zdrojů, omezení oslnění - omezení jasu svítidla v úhlu, pod kterým může být svítidlo vnímáno pozorovatelem, filtraci – odstranění nežádoucí části spektra vyzařovaného světelným zdrojem.

Konstrukční části svítidla slouží k upevnění zdroje, k upevnění světelně činných částí, k ochraně zdrojů i světelně činných částí před vniknutím cizích předmětů a vody. Svítidla musí splňovat podmínky jednoduché a snadné montáže, jednoduché údržby, dlouhé životnosti a spolehlivosti a z hlediska teploty nesmí být nebezpečná pro své okolí.

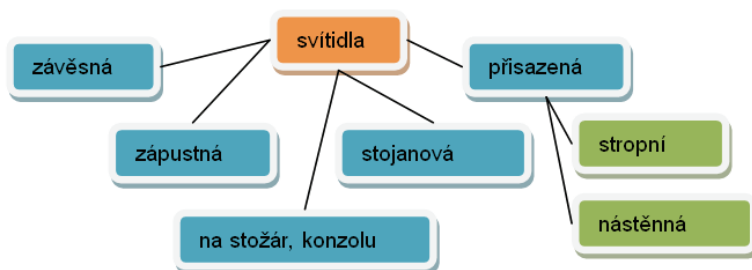
4.2.1. Druhy a třídění svítidel

Základní dělení svítidel lze provést podle jejich použití a určení:



Velmi důležitým hlediskem je použitý světelný zdroj, rozlišujeme proto svítidla pro kompaktní zdroje (žárovky, LED náhrady žárovek a kompaktní zářivky), zářivky (lineární nebo cirkulární), výbojky a LED.

Další používané dělení svítidel se provádí podle typu montáže:

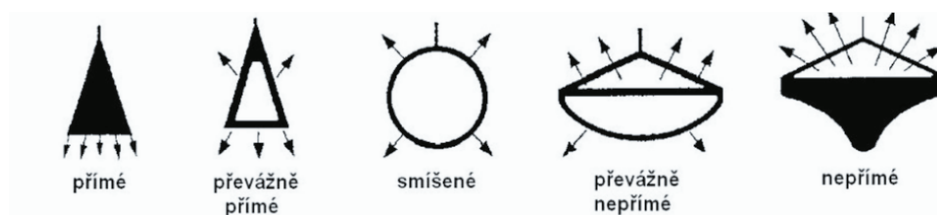


Je třeba si uvědomit, že některé typy svítidel (např. zářivková svítidla) existují v různých montážních variantách s jedním typem základního tělesa svítidla. Takto může být svítidlo přisazené na strop nebo pomocí závěsných lanek instalované jako závěsné svítidlo.

Svítidla lze třídit také podle rozložení světelného toku viz tab. 4.4 a obr. 4.11:

Třída rozložení světelného toku	Název	$\Phi_{\text{přímý}} / \Phi_{\text{celkový}}$
I	Přímé	80 – 100 %
II	Převážně přímé	60 – 80 %
III	Smíšené	40 – 60 %
IV	Převážně nepřímé	20 – 40 %
V	Nepřímé	0 – 20 %

Tab. 4.4: Klasifikace svítidel podle rozložení světelného toku



Obr. 4.11: Piktogramy rozložení světelného toku

Základní parametry svítidel

Světelný tok svítidla

Světelný tok svítidla Φ_{SV} , který je svítidlem opticky upraven, je dán rozdílem světelného toku všech světelných zdrojů Φ_{Z} umístěných ve svítidle a světelného toku ztraceného Φ_{ZTR} , který se ztratil při optickém zpracování.

Účinnost svítidla

Účinnost svítidla charakterizuje hospodárnost svítidla a její hodnota je dána poměrem světelného toku svítidla ke světelnému toku světelných zdrojů dle vztahu (4.2).

$$\eta_{SV} = \frac{\Phi_{SV}}{\Phi_Z} \quad (4.2)$$

kde η_{SV} - účinnost svítidla (-); Φ_{SV} - světelný tok svítidla (lm); Φ_Z - světelný tok všech zdrojů světla ve svítidle (lm).

Maximální účinnost by měl z tohoto hlediska mít holý světelný zdroj v objímce. Ten však není možné použít s ohledem na oslnění, nevhodné směřování vyzařovaného světelného toku a nedostatečnou ochranu před vlivy okolí a nebezpečným dotykem. Z hlediska maximálního využití dodávané elektrické energie je třeba dosahovat vysokých hodnot této veličiny. U běžných svítidel se pohybuje účinnost v rozmezí od 0,5 do 0,8. U LED svítidel a vysoce kvalitních světlometů i přes 0,95.

Jas svítidla

Jas svítidla je definován jako podíl svítivosti v daném směru a velikosti průmětu svítící plochy do roviny kolmé k uvažovanému směru, viz vztah 4.3 a více v kapitole 2.2.1.

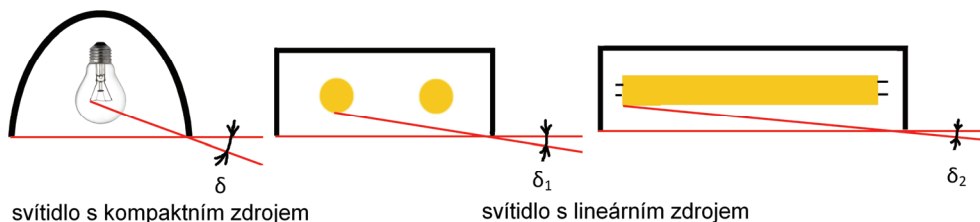
$$L_\gamma = \frac{I_\gamma}{A \cdot \cos \gamma} \quad (4.3)$$

kde L_γ - svítivost svazku světelných paprsků (svítící plochy) (cd); A - velikost svítící plochy viditelné pozorovatelem (m^2); γ - úhel, o který je viděná plocha natočena od kolmice k ose pohledu.

U svítidel pro osvětlování vnitřních prostorů se pro kontrolu na oslnění udávají často jasy v kritické oblasti úhlů od 45° do 85° od vodorovného směru pohledu.

Úhel clonění

Úhel clonění δ udává míru zaclonění světelného zdroje svítidlem. Je to nejmenší ostrý úhel mezi vodorovnou rovinou a přímkou spojující okraj svítidla se světelným zdrojem. U čiré žárovky je to její vlákno, u opálové zářivky nebo výbojky je to povrch baňky.



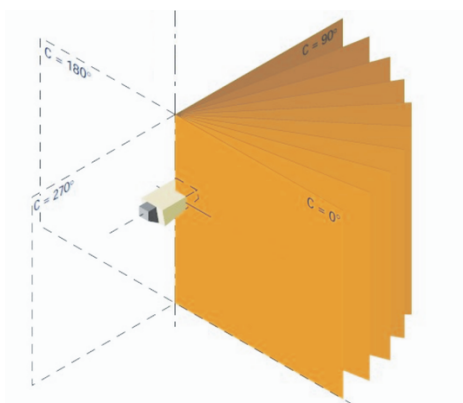
Obr. 4.12: Úhel clonění u svítidla

Křivky svítivosti

Svítivost představuje velikost světelného toku Φ vyzářeného do daného orientovaného prostorového úhlu Ω . Když je tento úhel velmi malý, mluvíme o svítivosti „v daném směru“. Pro svítidla se udávají křivky svítivosti, což jsou grafy svítivosti v jednotlivých směrech. Svítivost se vypočítá následovně:

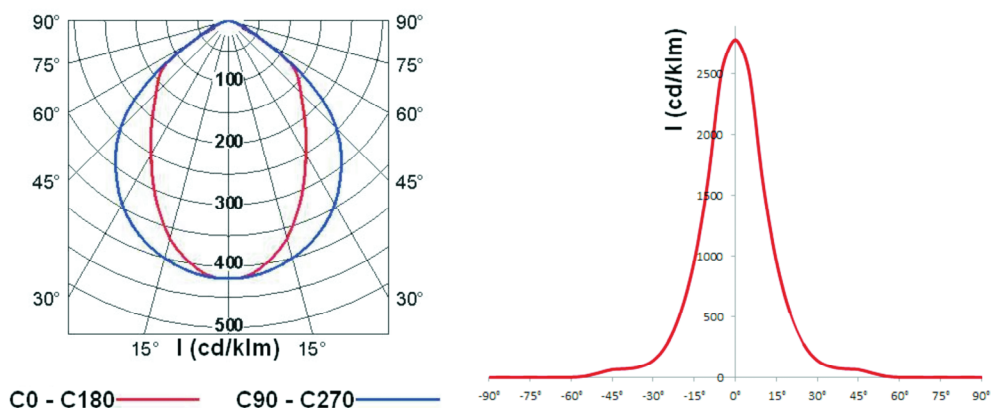
$$I = \frac{\Phi}{\Omega} \quad (4.4)$$

kde I - svítivost [cd]; Φ - světelný tok [lm]; Ω - prostorový úhel [sr].



Obr. 4.13: Soustava měřících rovin C-γ (systém A-α, B-β viz obr. 2.4)

Křivky svítivosti se dají najít v katalogových listech svítidel a poskytují názornou představu o způsobu šíření světelného toku v prostoru. Z křivek svítivosti lze vyčíst např. úhel clonění, směr maximální svítivosti apod. Je však třeba vědět, že křivky svítivosti udávané v katalogu jsou přepočítané na 1000 lm, aby se dala porovnat svítidla s různými světelnými zdroji.






Obr. 4.14: Křivky svítivosti v polárních a pravoúhlých souřadnicích

Zatímco rotačně symetrická svítidla lze popsat pouze jednou křivkou svítivosti v jedné polorovině řezu svítidlem, pro ostatní svítidla potřebujeme k jejich popisu křivek několik. Na obr. 4.13 je znázorněna soustava měřících rovin C- γ , které se používají nejčastěji. Více viz kapitola 2.2.1.

Třídy ochrany svítidel

Z hlediska elektrické bezpečnosti jsou svítidla klasifikována do následujících tří tříd, viz tab. 4.5.

Třída ochrany I	Označení místa připojení ochranného vodiče ke svorce  , používá se u všech kovových svítidel na nízké napětí
Třída ochrany II	Označení  , ochrana dvojitou nebo zesílenou izolací. Používá se nejen u celoplastových svítidel.
Třída ochrany III	Označení  . Připojení pouze k SELV nebo PELV zdrojům, typicky halogenové žárovky na napětí 12V nebo LED.

Tab. 4.5: Třídy ochrany svítidel

Ochrana proti vniknutí cizích těles, prachu a vlhkosti

Důležitou vlastností svítidla je také stupeň krytí. Vyjadřuje se značkou IP (Ingress Protection) a dvojčíferným číslem. První číslo je z rozsahu 0 až 6 a vyjadřuje stupeň ochrany před vniknutím cizích předmětů a před dotykem. Druhé číslo je z rozsahu 0 až 8 a vyjadřuje stupeň ochrany před vniknutím vody. Více v normě ČSN EN 60529. Některé typické stupně krytí u svítidel:

- IP20 – svítidlo s ochranou proti nebezpečnému dotyku (interiérová svítidla),
- IP43 – minimální krytí svítidel používaných pro venkovní prostory,
- IP54 – částečně prachotěsné svítidlo pro špinavé průmyslové prostory,

IP65 – úplně prachotěsné svítidlo, použití ve veřejném osvětlení.

Ochrana proti mechanickému poškození

Číslo za indexem IK značí u svítidla jeho odolnost proti mechanickému poškození, která je dána minimální nárazovou energií, kterou svítidlo bez funkčního poškození vydrží. Některé typické stupně ochrany:

IK00 – na svítidle bez označení – většina svítidel,

IK04 – se zpevněným optickým systémem,

IK07 – zesílený materiál svítidla,

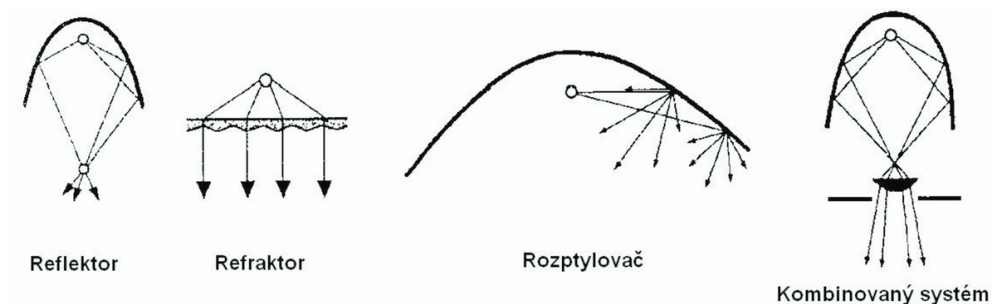
IK10 – provedení svítidla odolné vandalismu.

4.3. Skladba svítidel

Svítidla se skládají ze tří základních částí jako jsou světelně činné části (optika), elektrotechnické části a konstrukční části.

4.3.1. Světelně činné části (optika)

Světelně činné části slouží k usměrnění světelného toku jdoucího ze svítidla, tedy k úpravě křivky svítivosti, omezení oslnění a filtraci světelného toku. Na kvalitě optického systému rozhodujícím způsobem závisí parametry celého svítidla, zejména jeho účinnost.



Obr. 4.15: Základní typy světelně aktivních ploch

Usměrnění světelného toku se realizuje pomocí následujících optických prvků nebo jejich kombinací.

Reflektor mění rozložení světelného toku pomocí převážně zrcadlových odrazů. Pro výrobu reflektorů se používají slitiny hliníku potažené kovy s příměsí stříbra se zrcadlovou povrchovou úpravou. Takovéto reflektory jsou, z hlediska dosažení špičkových parametrů svítidel, nejlepší volbou, protože dosahují účinnosti až 95 %.

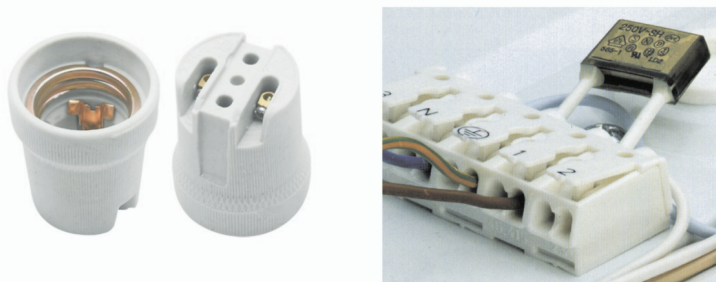
Refraktor mění rozložení světelného toku podle optického zákona lomu (viz kapitola 2.2.3). Refraktory svítidel se vyrábějí nejčastěji ze skla, PMMA, polystyrenu nebo jiných plastů.

Difuzor (rozptylovač) rozptyluje světelný tok odrazem nebo prostupem a vyzařuje světelný tok jako rovnoměrně rozptylná plocha; rozlišujeme difuzory s rozptylným odrazem a s rozptylným prostupem, více viz kapitola 2.2.3.

4.3.2. Elektrotechnické části

Elektrotechnické části přivádějí elektrickou energii k světelným zdrojům (vodiče, objímky) a zajišťují provoz světelného zdroje (předřadník, zapalovač, transformátor).

Objímky se ve svítidle používají podle typu patice konkrétního světelného zdroje. Nejčastěji se používají tyto druhy patic (objímek): závitové (E14, E27, E40); bajonetové (B15, B22); zářivkové (G5, G13); kolíkové (G23, G24, G7) atd.



Obr. 4.16: Patice E27, bezšroubová svorkovnice, vodiče, kompenzační kondenzátor

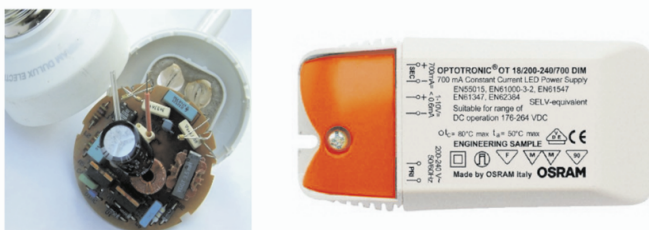
Svorkovnice - šroubovací typy jsou v současnosti, zejména u nižších příkonů svítidel, postupně vytlačovány svorkovnicemi umožňující beznástrojové připojení vodičů.

V hůře přístupných místech (např. vysoké průmyslové haly) jsou vnitřní vodiče spojené konektorovými systémy, aby bylo možné jednotlivé bloky (např. blok předřadníku) jednoduše, lehce a také rychle vyměnit (beznástrojová výměna komponentů).

Předřadník se může skládat z jedné části nebo více oddělených částí. Obstarává přizpůsobení napájení, pomáhá vygenerovat zapalovací napětí, eliminuje stroboskopický efekt, upravuje účinnost a potlačuje rádiové rušení.

Rozlišujeme tyto základní druhy předřadníků:

- Samostatný předřadník - předřadník, který se může instalovat odděleně od svítidla bez přídavného krytu. Může se skládat z vestavěného předřadníku ve vhodném krytu, který zabezpečuje potřebnou ochranu podle příslušného označení.
- Vestavěný předřadník - předřadník určený jen k zabudování do svítidla, krytu apod.
- Integrovaný předřadník - předřadník, který tvoří nevyměnitelnou část světelného zdroje.



Obr. 4.17: Integrovaný předřadník kompaktní zářivky a samostatný předřadník pro napájení světelných diod (LED driver)

Induktivní předřadníky pro zářivky a výbojky

Pro provoz výbojových zdrojů na síťovém napětí jsou i dnes používány indukční předřadníky se zapalovači nebo startéry.



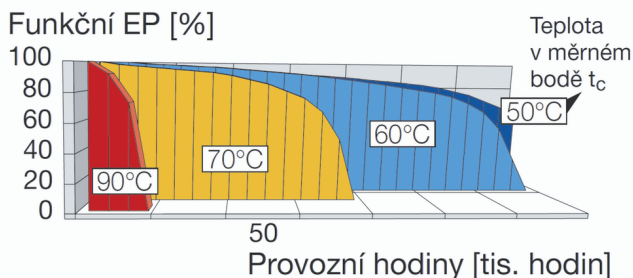
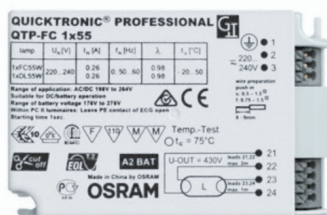
Obr. 4.18: Tlumivka, zapalovač, startér

Tyto předřadníky dnes ale nesplňují požadavky na hospodárny provoz ani komfort a proto se vyskytují hlavně ve starších nebo levných svítidlech. Jejich prodej omezuje také jejich vysoká výrobní cena daná jejich materiálovou náročností. Stále se používají pouze u výbojek vyšších výkonů.

Elektronické předřadníky pro zářivky a výbojky

Výhoda elektronického předřadníku je okamžitý start bez blikání a rychlejší náběh světelného toku na jmenovitou hodnotu, stabilní výboj a úplné potlačení stroboskopického jevu, zvýšení měrného výkonu a prodloužení životnosti světelného zdroje, menší rozměry a hmotnost, možnost stmívání (u speciálních předřadníků) a menší energetické ztráty.

Elektronické předřadníky např. přehřívají vlákna elektrod, čímž umožňují snazší emisi nosičů nábojů. Takový provoz je šetrnější a prodlužuje životnost zářivky. Dnes jsou pro nové typy zářivek T5 (průměr trubice 16 mm) k dispozici inteligentní elektronické předřadníky, které dokáží automaticky rozpoznat typ připojené zářivky a nastavit pro ni optimální parametry.



Obr. 4.19: Elektronický předřadník pro zářivky a vliv teploty na poruchovost elektronických předřadníků

Při výběru předřadníku i konstrukce svítidla je třeba zohlednit teplotní poměry ve svídle. Na obr. 4.19 je dobře vidět, že pokles teploty předřadníku o každých 10°C pak vede skoro ke zdvojnásobení jeho životnosti.

Transformátory pro napájení halogenových žárovek

Klasické magnetické transformátory pro napájení halogenových žárovek napětím 12V jsou stále častěji nahrazovány polovodičovými zdroji. Tyto transformátory i zdroje musí mít na sekundární straně SELV – bezpečné malé elektrické napětí bez spojení se zemí, bývají vybaveny i ochranami proti přetížení nebo zkratu na výstupu nebo tepelnou ochranou.

Zdroje pro napájení světelných diod

Zdroje pro napájení LED čipů jsou polovodičové konstrukce a jejich úkolem je udržet příkon LED v žádaných mezích. Protože parametry LED jsou v průběhu zahřívání, stárnutí i vlivem výrobních tolerancí různé, jedná se většinou o zdroje konstantního proudu. Nejčastěji používané jsou proudy 350 a 700 mA, popřípadě zdroje stmívatelné s říditelným proudem.

4.3.3. Konstrukční části svítidel

Konstrukční části slouží jako celkový konstrukční nosný základ svítidla (základní těleso), k ochraně před nebezpečným dotykem a proti vniknutí vody a také k upevnění svítidla.

Jako základ svítidla, který může být zároveň jeho krytem, se u interiérových svítidel používají často plastické hmoty nebo tenký plech opatřený komaxitovou barvou. Svítidla určená do venkovních prostor jsou nejčastěji hliníková.

Další požadavky na konstrukční části svítidel:

- světelná stálost,
- teplotní stálost,
- odolnost proti korozi,
- mechanická pevnost.

Světelná stálost materiálů je pro jejich použití ve svítidlech velmi důležitou veličinou. Stálým působením světelného a ultrafialového záření, zesíleného teplem a vlhkostí, dochází k trvalým změnám, např. žloutnutí, vybělení, zkrěhnutí, tvoření trhlin nebo praskání.

Odolnost kovů proti korozi musí být zajištěna účelnou povrchovou ochranou, která ovlivňuje nejen vzhled, ale také světelnětechnické vlastnosti materiálu. Aby bylo vyhověno přípustným podmínkám použití, požadovaným světelnětechnickým parametrům a estetickým požadavkům, používají se následující povrchové úpravy: lakování, poniklování, pochromování, emailování, pozinkování, kadmiování, nanášení umělých hmot, leštění a eloxování. U plastů je odolnost proti korozi zaručena, a proto nevyžadují dodatečná opatření, mají však podmíněnou stálost proti působení UV záření.

Mechanická pevnost je mírou stability konstrukčních prvků, především u plastů a křemenných skel. Vlivem záření, tepla, chladu a vlhkosti se může změnit mechanická pevnost, a tím i spolehlivost svítidla.

4.4. Literatura ke kapitole

- [1] Miškařík, S.: Moderní světelné zdroje světla, SNTL Praha 1979, s. 252, 04-509-79 – DT 621.32
- [2] Sokanský, K. a kol.: Úspory elektrické energie na veřejné osvětlení. ČSO RS Ostrava, 2002.
- [3] Sokanský, K. a kol.: Racionalizace v osvětlování kancelářských, školských a bytových prostor. ČSO RS Ostrava, 2004.
- [4] Sokanský, K. a kol.: Potenciál energetických úspor veřejného osvětlení. ČSO RS Ostrava, 2007.
- [5] Sokanský, K. a kol.: Úspory energie v osvětlování při hodnocení energetické náročnosti budov. ČSO RS Ostrava, 2009.
- [6] Katalog firmy OSRAM, Světelné zdroje, Dostupné z URL: <http://osram.cz/osram_cz/KATALOG/index.html>.
- [7] Katalog firmy PHILIPS, Světelné zdroje, Dostupné z URL: <<http://www.philips.cz/>>.
- [8] Indukční výbojky, tzv. plazmové světelné zdroje, Mgr. Mikuláš Parma, dostupné z URL: <<http://www.odbornecasopisy.cz/res/pdf/44766.pdf>>.
- [9] Webové stránky společnosti Cree, Inc., Dostupné z URL: <<http://www.cree.com/products/xlamp.asp>>.

5. Denní světlo

Slunce je primárním zdrojem denního záření, které je jednou z přirozených forem energie, již můžeme bezprostředně využívat. Světlo vzniká jako viditelná část spektra denního záření a je produktem slunečního elektromagnetického záření. Denní světlo je nejen vhodným energetickým zdrojem pro osvětlování prostorů, ale také nutným předpokladem k vytvoření zdravého prostředí pro život živých organismů v interiérech. Vytvoření podmínek pro dosažení vhodných parametrů denního osvětlení je složitým úkolem, a to zejména proto, že se zde setkávají mnohdy protichůdné požadavky pracovníků různých profesí. Složitost je dána i tím, že denní světlo nejen umožňuje vidění osob v interiéru, ale současně spoluvytváří zdravé životní prostředí stimulací biorytmů organismů.

Hlavní složky denního světla na zemském povrchu jsou přímé sluneční světlo a oblohové světlo.

Při návrhu denního osvětlení by měla sehrát rozhodující roli osobnost světelného technika – odborníka, který by měl brát v potaz všechny aspekty. V praxi je často tímto technikem projektant stavební části, v jehož působnosti jsou osvětlovací otvory, nebo snad ještě častěji světelný technik, který osvětlení interiéru dále dotváří osvětlením umělým.

5.1. Základní pojmy

Slunce

Slunce je mohutným zdrojem energie, kterou vyzařuje ve všech oblastech elektromagnetického záření, čímž ovlivňuje všechna tělesa sluneční soustavy. Slunce je kulovitého tvaru. Plochu, kterou vidíme jako povrch slunce nazýváme fotosféra. Tvoří ji tenká neprůhledná vrstva plynu v plazmatickém stavu, nad kterou je ještě rozprostřena řidší, avšak rozměrnější vrstva chromosféry a koróny. Základní údaje o Slunci jsou uvedeny v tab. 5.1:

Poloměr	695 000 km
Povrch	$6,07 \cdot 10^{12} \text{ km}^2$
Objem	$1,412 \cdot 10^{18} \text{ km}^3$
Hmotnost	$1,9891 \cdot 10^{30} \text{ kg}$
Střední hustota	$1,409 \text{ kg} \cdot \text{dm}^{-3}$
Efektivní povrchová teplota	5 770 K
Zářivá vizuální teplota	6 050 K
Celkový zářivý výkon	$3,826 \cdot 10^{26} \text{ J} \cdot \text{s}^{-1}$
Průměrný jas	$2,0 \cdot 10^9 \text{ cd} \cdot \text{m}^{-2}$
Maximální jas	$2,5 \cdot 10^9 \text{ cd} \cdot \text{m}^{-2}$

Tab. 5.1: Základní údaje o Slunci

Mimozemské (extraterestriální) sluneční záření

Záření dopadající na vnější mezní plochu zemské atmosféry nazýváme extraterestriální. Celková sluneční energie dopadající na horní hranici atmosféry je

$1,8 \cdot 10^{17} \text{ W} \pm 3,3 \%$. Uváděná tolerance 3,3 % je díky různé vzdálenosti obíhající Země po oběžné dráze kolem Slunce.

Solární (sluneční zářivá) konstanta

Ozářenost extraterestriální slunečním zářením na povrchu kolmém na sluneční paprsky při střední vzdálenosti Země od Slunce je:

$$E_{e,o} = (1367 \pm 7) \text{ W} \cdot \text{m}^{-2} = 1367 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2} \pm 0,5 \% \quad (5.1)$$

Zářivý tok v atmosféře

Celkový zářivý tok dopadající na vrchní vrstvu atmosféry Země:

$$\Phi_{e,o} = \pi \cdot R_z^2 \cdot E_{e,o} = \pi \cdot 6371005^2 \cdot 1367 = 1,7431 \cdot 10^{17} \text{ W} \quad (5.2)$$

kde R_z - střední poloměr Země (km); $E_{e,o}$ - sluneční zářivá konstanta ($\text{W} \cdot \text{m}^{-2}$); $\Phi_{e,o}$ - celkový zářivý tok (W).

Tato hodnota se blíží udávané hodnotě $1,8 \cdot 10^{17} \text{ W}$.

Z celkové energie vyzařované Sluncem $3,826 \cdot 10^{26} \text{ W}$ představuje procentuální podíl:

$$\varphi = \frac{\Phi_{e,o}}{\Phi_{e,\otimes}} \cdot 100 = \frac{1,7431 \cdot 10^{17}}{3,826 \cdot 10^{26}} \cdot 100 = 4,55 \cdot 10^{-8} \% \quad (5.3)$$

Tento nepatrný podíl, z celkové vyzařované sluneční energie, je hlavním zdrojem všech procesů působících na Zemi.

Sluneční světelná konstanta

Byla stanovena propočtem podle vztahu:

$$E_{v,o} = K_m \cdot \int_0^{\infty} E_{e,o,\lambda}(\lambda) \cdot V(\lambda) \cdot d\lambda = 133\,800 \text{ lx} \quad (5.4)$$

kde $E_{e,o,\lambda}(\lambda)$ je spektrální složení mimozemského slunečního záření na povrchu kolmém na sluneční paprsky při střední vzdálenosti od Země, ve $(\text{W} \cdot \text{m}^{-2}) \cdot \text{nm}^{-1}$.

Atmosféra

Světelné vlastnosti atmosféry ovlivňují klimatické podmínky, které probíhají přibližně do 15 km od Země. Ty jsou zapříčiněny nečistotami obsaženými v atmosféře, např. aerosoly, teplotními a tlakovými poměry, oblačností apod. Za nejdůležitější se pokládá rozptyl světla interakcí slunečního záření s plynnými

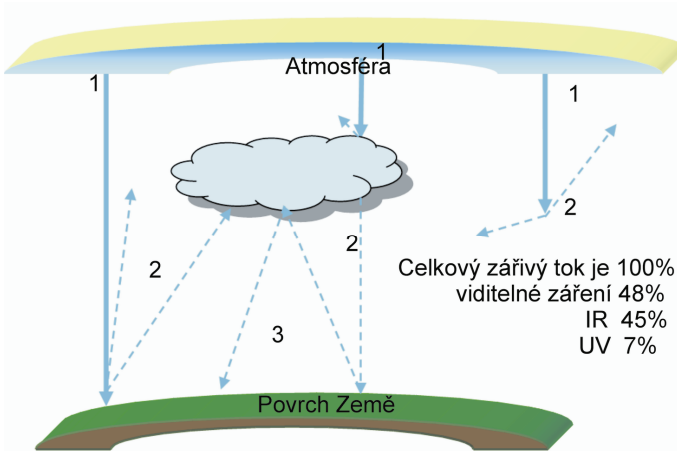
molekulami vzduchu, klimatické poměry provázené různými druhy oblačnosti a vlivy aerosolů na zákal atmosféry.

Sluneční světlo a jeho prostup atmosférou

Přímé sluneční záření je ta část slunečního záření, která jako soustředěný svazek dopadne na zemský povrch po selektivním zeslabení v atmosféře.

Oblohové světlo

Oblohové světlo, nebo-li sluneční světlo rozptýlené atmosférou (a jejími nečistotami), je viditelná část oblohového záření.



Obr. 5.1: Prostup slunečního záření atmosférou během dne

Na obr. 5.1 je znázorněn prostup slunečního záření atmosférou a jeho různé odrazy: 1. sluneční záření absorbované atmosférou. 2. difúzní sluneční záření po odrazech od různých překážek např. povrch Země, oblaky, atmosféra. 3. vícenásobný odraz difúzního záření.

Odražené denní záření vzniká odrazem od povrchu Země a také od různých povrchů, na které toto záření dopadá. Tyto odrazy se z části vracejí do meziplanetárního prostoru.

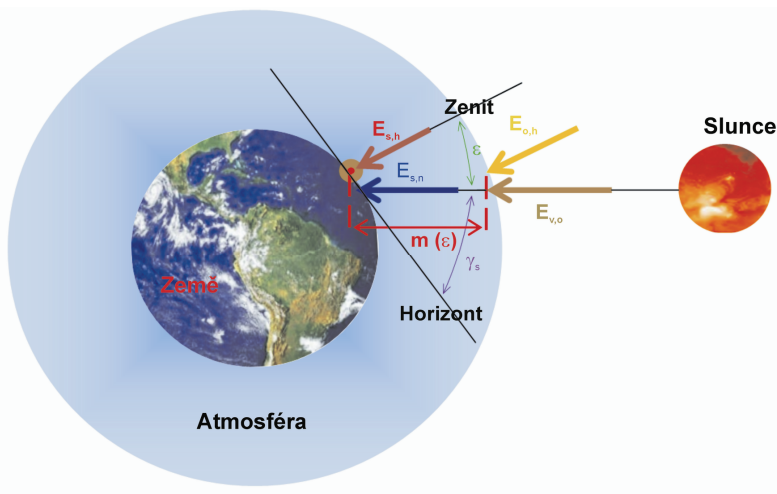
V daném bodě horizontální roviny bude osvětlenost přímým slunečním světlem:

$$E_{s,b} = E_{s,n} \cdot \cos \varepsilon = E_{s,n} \cdot \cos \gamma_s = E_{v,o} \cdot \cos \varepsilon \cdot e^{-a_v \cdot T_v \cdot m(\varepsilon)} \quad (5.5)$$

kde $E_{v,o}$ - sluneční světelná konstanta $E_{v,o} = 133\,800$ (lx); $E_{o,b}$ - horizontální extraterrestrální osvětlenost v (lx); $E_{s,n}$ - normálová osvětlenost v bodě roviny na Zemi kolmé na směr paprsků v (lx); $m(\varepsilon)$ - relativní optická vzduchová tloušťka atmosféry (-); a_v - světelný extinkční činitel čisté atmosféry (-); T_v - světelný činitel zákalu atmosféry aerosoly (-); ε - úhel odklonu slunečních paprsků od normály horizontální

roviny v daném místě na Zemi (-); γ_s - doplňkový úhel, $\varepsilon + \gamma_s = 90^\circ$, který má význam výšky Slunce nad horizontem ($^\circ$).

Na obr. 5.2 je znázornění jednotlivých úhlových veličin a osvětleností v rovině dopadu slunečního světla k danému místu na Zemi.



Obr. 5.2: Znázornění úhlových veličin a osvětleností

Denní osvětlenost

Denní osvětlenost ve venkovním prostoru se skládá z přímého světla a světla oblohového, které se označují globální (celková) osvětlenost.

Celková denní osvětlenost je dána vztahem:

$$E_g = E_s + E_{ob} \quad (5.6)$$

kde E_g - denní (celková) osvětlenost v (lx); E_s - osvětlenost přímým slunečním světlem v (lx); E_{ob} - osvětlenost difuzním oblohovým světlem v (lx).

Rovnoměrně zatažená obloha při tmavém terénu

Definice zatažené oblohy podle CIE (1955) je v dosavadní praxi jedním ze základních údajů o zdroji denního oblohového světla využívaném při normalizaci požadavků na denní osvětlení, k návrhu a kontrole parametrů denního osvětlení budov aj.

Úplně zatažená obloha má poloměr jasu L_γ ve směru úhlu γ nad horizontem k jasů L_z v zenitu daný vztahem (5.7)

$$L_\gamma = \frac{1}{3} L_z \cdot (1 + 2 \sin \gamma) \quad (5.7)$$

kde L_γ - jas oblohy v úhlové výšce γ nad horizontem v ($\text{cd}\cdot\text{m}^{-2}$); L_z - jas oblohy v zenitu v ($\text{cd}\cdot\text{m}^{-2}$).

V mezních situacích pro $\gamma = 0^\circ$ (ve směru k horizontu) a $\gamma = 90^\circ$ (ve směru k zenitu) je poměr hodnot $L_0 : L_{90} = 1 : 3$. To platí za předpokladu tmavého terénu s činitelem odrazu $\rho_T = 0,005$ až $0,20$. Často se proto tato obloha označuje jako rovnoměrně zatažená obloha s gradací jasu $1 : 3$ při tmavém terénu nebo jen krátce obloha s gradací jasu $1 : 3$. U této oblohy je v makroskopickém měřítku vliv přímého slunečního světla vyloučen (na obloze nelze rozeznat polohu Slunce). Ze vztahu (5.9) pro poměrný jas nelze stanovit reálnou hodnotu jasu L_γ . Nejschůdnější cestou se ukázala možnost substituce veličiny L_z veličinou průměrného jasu oblohy L_p , pro kterou Moon a Spencerová odvodili vztah:

$$L_p = \frac{7}{9} \cdot L_z \quad (5.8)$$

kde L_p je jas takové hemisféry s konstantním jasem, která dává v bodě nezastíněné horizontální roviny stejnou osvětlenost jako obloha s gradovaným jasem $1 : 3$, ($\text{cd}\cdot\text{m}^{-2}$).

Dosazením do původní rovnice získáme vztah:

$$L_\gamma = \frac{3}{7} \cdot L_p \cdot (1 + 2 \cdot \sin \gamma) \quad (5.9)$$

Za veličinu L_p můžeme dosadit hodnotu plynoucí ze vztahu:

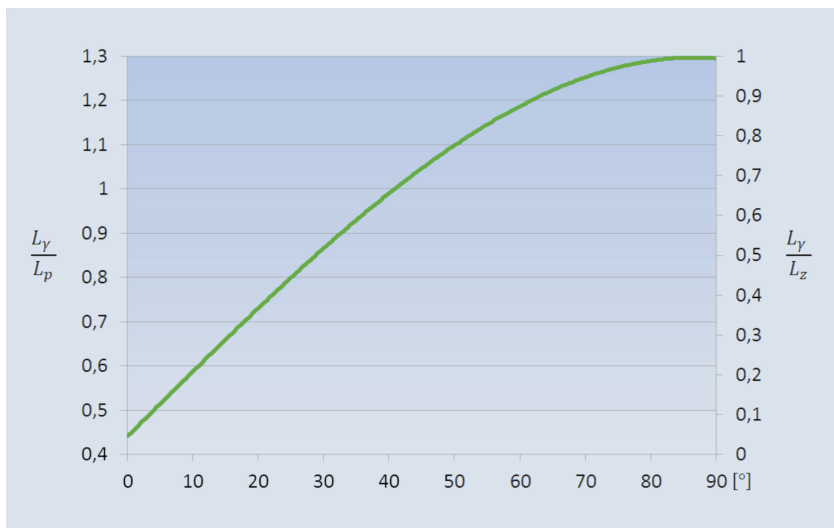
$$L_p = \frac{E_{ob,e,b}}{\pi} \quad (5.10)$$

kde $E_{ob,e,b}$ je osvětlenost venkovní vodorovné nezastíněné roviny difuzním oblohovým světlem v (lx).

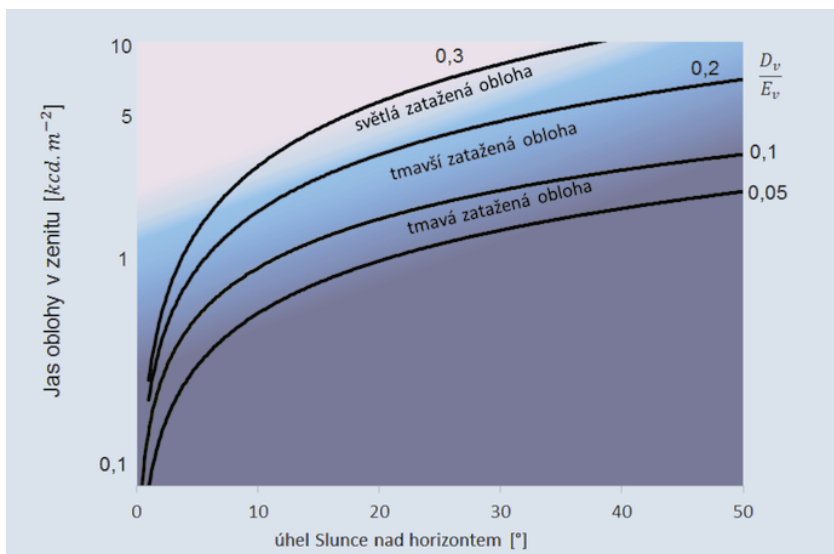
Činitel jasu q podle ČSN 73 0580-1 je daný poměrem hodnot:

$$q = \frac{L_\gamma}{L_z} = \frac{3}{7} \cdot (1 + 2 \cdot \sin \gamma) \quad (5.11)$$

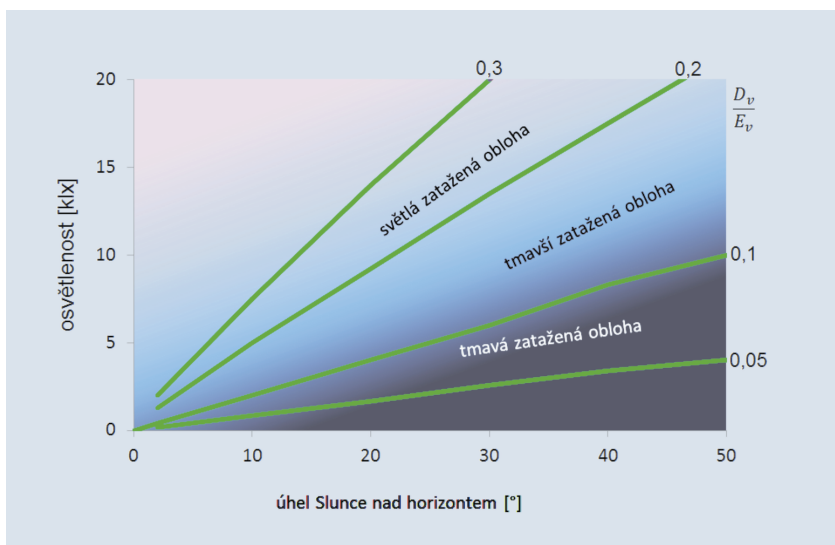
Poměr $E_{ob,e,b}/E_{o,b}$ vyjadřuje využití slunečního světla rozptýleného oblohou k teoretické hodnotě osvětlenosti světlem závislým jen na úhlu sklonu paprsku k horizontální rovině v daném místě. Pro určitou oblačnost či stav oblohy volíme určitou číselnou hodnotu tohoto poměru, která s využitím dalších empirických vzorců dovolí stanovit hodnoty osvětlenosti $E_{ob,e,h}$ a jasu L_z pro danou výšku Slunce γ_s . Pro oblohu s gradací jasu $1 : 3$ jsou tyto závislosti vyjádřeny na obr. 5.4 a obr. 5.5.



Obr. 5.3: Rozložení jasu 1 : 3 na rovnoměrně zatažené obloze při tmavém terénu od horizontu (0°) k zenitu (90°) [1]



Obr. 5.4: Graf jasu v zenitu $L_z=f(\gamma_s, E_{ob,e,h}/E_{o,h})$ pro rovnoměrně zataženou oblohu s gradací jasu 1 : 3 [6]

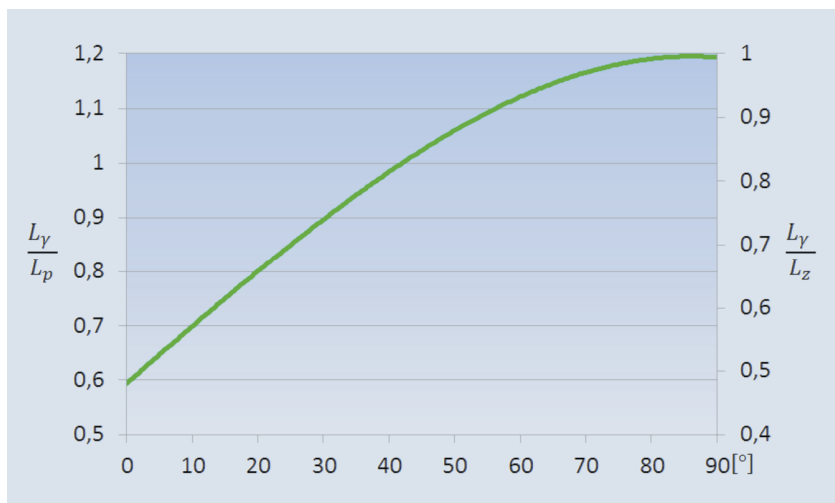


Obr. 5.5: Difuzní oblohové osvětlenosti pro rovnoměrně zataženou oblohu s gradací jasu 1: 3 [6]

Rovnoměrně zatažená obloha při světlém (zasněženém) terénu

V ČSN 73 0580-1 jsou uvedeny vztahy pro výpočet jasu při rovnoměrně zatažené obloze a zasněženém terénu ve tvaru:

$$L_{\gamma} = \frac{1}{2} \cdot L_z (1 + \sin \gamma) \tag{5.12}$$



Obr. 5.6: Rozložení jasu 1 : 2 na rovnoměrně zatažené obloze při zasněženém terénu od horizontu (0°) k zenitu (90°) [1]

Činitel odrazu terénu se předpokládá v rozmezí hodnot 0,5 až 0,85. Pro označení této oblohy se používá též termín rovnoměrně zatažená obloha s gradací jasu 1 : 2 při zasněženém terénu. Tyto hodnoty lze využít jako doplňkový údaj pro místa s dlouhodobou sněhovou pokrývkou.

Splnění kritéria rozložení jasu oblohy s gradací 1 : 3, resp. 1 : 2, je v exteriérových podmínkách ojedinělé v některých dnech během listopadu až března. To je častá příčina obtíží při měření denního osvětlení, mají-li být hodnoty vypočtené a hodnoty naměřené ve vzájemné korelaci.

Jasná obloha podle CIE

Bezoblačná obloha, s relativním rozložením jasu, je popsána v publikaci CIE č. 22/1973.

Tato obloha je po standardu rovnoměrně zatažené oblohy podle CIE druhým mezinárodně přijatým doporučením o zdroji denního světla.

Základní charakteristiky jasné oblohy:

- jas oblohy je závislý na poloze Slunce nad horizontem,
- jas není po celé hemisféře rozložen rovnoměrně, ale má svá lokální maxima a minima.

Nejvyšší jas má obloha v blízkém okolí Slunce vzhledem k místu posuzování. Jas oblohy se s úhlovou vzdáleností od slunce snižuje. V blízkosti horizontu se vlivem zvýšeného rozptylu slunečního světla v atmosféře poněkud zvyšuje.

Jas oblohy je nejnižší při suché a čisté atmosféře. Přítomnost aerosolů její jas zvyšuje.

Při jasné obloze dochází k rozptylu slunečního světla zejména v oblasti kratších vlnových délek viditelného záření. To je příčinou vjemu oblohy v odstínech modré barvy. S nárůstem aerosolů v atmosféře je barevný odstín méně sytý a přechází do běla.

Při jasné obloze působí na osvětlenost daného místa též přímé sluneční světlo. Závislost osvětlenosti $E_{s,h}$ na výšce Slunce nad horizontem γ_s a světelném činiteli zákalu T_v .

Empirické vzorce pro výpočet jednotlivých veličin jsou zapsány uvnitř jednotlivých grafů. Celková osvětlenost bodu horizontální roviny je pak:

$$E_g = E_{s,h} + E_{ob,e,h} \quad (5.13)$$

Činitel denní osvětlenosti D

Činitel denní osvětlenosti vnitřního prostoru je podíl osvětlenosti dané roviny přímým i odrazeným oblohovým světlem v dané době a současné srovnávací osvětlenosti venkovní nezastíněné vodorovné roviny za předpokládaného nebo známého rozložení jasu oblohy. Přímé sluneční světlo je vyloučeno z obou osvětleností. V hodnotě činitele denní osvětlenosti bodu dané roviny jsou zahrnuty vlivy zasklení, nečistoty atd. Při výpočtu osvětlení interiérů je příspěvek přímého sluneč-

ního světla nutno vzít v úvahu odděleně. Při měření srovnávací osvětlenosti E_{eb} musí být dodržena i předepsaná tolerance odchylky rozložení jasů oblohy oproti zvolenému typu oblohy.

Činitel denní osvětlenosti D se udává v procentech a stanoví se:

$$D = \frac{E}{E_{eh}} \cdot 100 \quad (5.14)$$

kde E je osvětlenost v bodě dané roviny v (lx); E_{eh} je srovnávací osvětlenost v bodě venkovní nezastíněné roviny v (lx).

Při stanovení D výpočtem:

$$D = D_{ob} + D_e + D_i \quad (5.15)$$

kde D_{ob} - oblohová složka činitele denní osvětlenosti v (%); D_e - vnější odražená složka činitele denní osvětlenosti v (%); D_i - vnitřní odražená složka činitele denní osvětlenosti v (%).

Oblohová složka D_{ob}

Je podíl osvětlenosti dané roviny v daném bodě vyvolané přímo oblohou s předpokládaným nebo známým rozložením jasu a osvětlenosti horizontální roviny poloprostorem oblohy bez překážek. Přímé sluneční světlo je vyloučeno z obou osvětleností.

Oblohová složka je v procentech a stanoví se:

$$D_{ob} = \frac{E_{ob}}{E_{eh}} \cdot 100 \quad (5.16)$$

kde D_{ob} - oblohová složka činitele denní osvětlenosti v (%); E_{ob} - osvětlenost bodu dané roviny oblohovým světlem v (lx).

Vnitřní odražená složka D_i

Je podíl složky osvětlenosti dané roviny v daném bodě vnitřního prostoru vyvolané vnitřními odraznými povrchy přímo nebo nepřímo osvětlenými oblohou s předpokládaným nebo známým rozložením jasů a osvětleností horizontální roviny vyvolané poloprostorem oblohy bez překážek. Přímé sluneční světlo je vyloučeno z obou osvětleností.

Vnitřní odražená složka činitele denní osvětlenosti se udává v procentech a stanoví se:

$$D_i = \frac{E_i}{E_{eh}} \cdot 100 \quad (5.17)$$

kde D_i - vnitřní odražená složka činitele denní osvětlenosti v (%); E_i - osvětlenost bodu dané roviny vnitřním odraženým světlem v (lx).

Vnější odražená složka D_e

Vnější odražená složka je podíl složky osvětlenosti dané roviny v daném bodě vyvolané přímo vnějšími odraznými povrchy přímo nebo nepřímo osvětlenými oblohou s předpokládaným nebo známým rozložením jasů a osvětlenosti poloprostorem téže oblohy bez překážek. Přímé sluneční světlo je vyloučeno z obou osvětleností.

Vnější odražená složka činitele denní osvětlenosti se udává v procentech a stanoví se:

$$D_e = \frac{E_e}{E_{eh}} \cdot 100 \quad (5.18)$$

kde D_e - vnější odražená složka činitele denní osvětlenosti v (%); E_e - osvětlenost bodu dané roviny vnějším odraženým světlem v (lx).

Požadavky pro návrh denního osvětlení

Vyhovující denní osvětlení musí mít vnitřní prostory určené pro trvalý pobyt lidí během dne. Případy, kdy lze použít sdruženého osvětlení, vymezuje norma ČSN 36 0020.

V nově navrhovaných budovách musí mít vždy vyhovující denní osvětlení:

- obytné místnosti bytů,
- ložnice a pokoje zařízené pro dlouhodobé ubytování (domovů mládeže, kolejí, ubytoven atd.) a pro dlouhodobou rekreaci (lázeňských domů, zotavenen atd.),
- denní místnosti zařízené pro předškolní výchovu (jeslí a mateřských škol),
- učebny škol kromě speciálních učeben a poslucháren,
- vyšetřovny a lůžkové místnosti (pokoje) zdravotnických zařízení,
- jídelny a místnosti pro oddech určené pro uživatele vnitřních prostorů bez denního světla.

Denní osvětlení vnitřních prostorů budov a jejich funkčně vymezených částí se navrhuje podle zrakových činností, pro které jsou určeny a kterým denní osvětlení slouží. Je-li denní osvětlení vnitřního prostoru nebo jeho funkčně vymezené části určeno pro různé zrakové činnosti, musí vyhovovat i pro ty, které mají největší požadavky na osvětlení. Předpokládají-li se změny funkčního využití vnitřního prostoru během užívání budovy (např. změny technologie nebo druhu výroby ve výrobních budovách, víceúčelové vnitřní prostory a budovy), navrhuje se denní osvětlení s ohledem na tyto změny. Požadovaná úroveň denního osvětlení je uvedena v tab. 5.2.

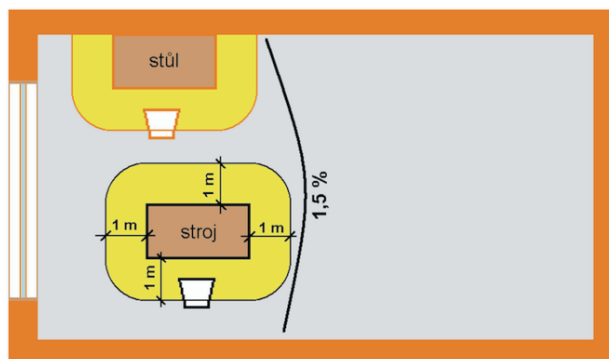
Třída zrakové činnosti	Charakteristika zrakové činnosti	Poměrná pozorovací vzdálenost	Příklady zrakových činností	Hodnota činitele denní osvětlenosti (%)	
				minimální D_{\min}	průměrná D_m
I	mimořádně přesná	3 330 a větší	Nejpřesnější zraková činnost s omezenou možností použití zvětšení.	3,5	10
II	velmi přesná	1 670 až 3 330	Velmi přesné činnosti při výrobě a kontrole.	2,5	7
III	přesná	1 000 až 1 670	Přesná výroba a kontrola, rýsování, technické kreslení.	2	6
IV	středně přesná	500 až 1 000	Středně přesná výroba a kontrola, čtení psaní.	1,5	5
V	hrubší	100 až 500	Hrubší práce, manipulace s předměty a materiálem.	1	3
VI	velmi hrubá	menší než 100	Udržování čistoty, sprchování a mytí, převlékání.	0,5	2
VII	celková orientace	-	Chůze, doprava materiálu, skladování hrubého materiálu.	0,2	1

Tab. 5.2: Třídění zrakových činností a hodnoty činitele denní osvětlenosti [1]

Jsou-li určité zrakové činnosti omezeny jen na část vnitřního prostoru, může se odstupňovat denní osvětlení funkčně vymezených částí vnitřního prostoru podle příslušných zrakových činností.

Denní osvětlení se navrhuje tak, aby hodnoty činitele denní osvětlenosti ve vnitřním prostoru nebo v jeho funkčně vymezených částech nebyly menší, než pro odpovídající zrakové činnosti stanoví tab. 5.2. Minimální hodnoty činitele denní osvětlenosti D_{\min} musí být splněny ve všech kontrolních bodech vnitřního prostoru nebo jeho funkčně vymezené části. Průměrné hodnoty činitele denní osvětlenosti D_m musí být splněny pouze u vnitřních prostorů: s horním denním osvětlením a s kombinovaným denním osvětlením, u kterých je podíl horního osvětlení na průměrné hodnotě činitele denní osvětlenosti D_m roven nejméně jedné polovině.

Průměrná hodnota činitele denní osvětlenosti D_m se určuje jako aritmetický průměr hodnot v kontrolních bodech zvolené pravidelné sítě na vodorovné srovnávací rovině, a to buď v celém rozsahu vnitřního prostoru, nebo v jeho funkčně vymezené části.



Obr. 5.7: Příklad funkčního vymezení vnitřního prostoru [1]

Rovnoměrnost denního osvětlení

Hodnota rovnoměrnosti denního osvětlení ve vnitřních prostorech, ve kterých se požaduje splnění jen minimální hodnoty činitele denní osvětlenosti, nemá být při třídách zrakových činností I až IV menší než 0,2, při třídě V menší než 0,15. Při třídách I až III se doporučuje rovnoměrnost osvětlení nejméně 0,3. Rovnoměrnost denního osvětlení se přitom určuje jako podíl nejmenší a největší hodnoty činitele denní osvětlenosti zjištěné v kontrolních bodech sítě na vodorovné srovnávací rovině ve funkčně vymezené části prostoru. Přechází-li se častěji mezi sousedními vnitřními prostory, nesmí být poměr úrovní denního osvětlení mezi nimi menší než 1 : 5 (poměr minimálních nebo průměrných hodnot činitele denní osvětlenosti).

5.2. Osvětlovací systémy

Do osvětlovacího systému patří osvětlovací otvory a prvky, které regulují, přeměňují nebo upravují světlo procházejícími otvory. V širším slova smyslu sem patří i součásti prostoru, které se podílejí na odrazu a redistribuci světla (stěny, strop, podlaha, větší části zařízení).

Osvětlovací systémy by měly zajistit zejména dostatek denního světla pro zrakovou činnost v prostoru, zprostředkovat potřebné množství světla pro fyziologické potřeby organismu, umožnit proslunění vnitřních prostor (zejména obytné prostory) a poskytnout výhled z interiéru do okolního prostředí.

Osvětlovací systémy lze rozdělit z hlediska přístupu denního světla do interiéru na:

- přímé - jedná se o osvětlovací otvory, které přímo ústí do venkovního prostoru,
- nepřímé – osvětlovací otvory zde ústí do jiné místnosti, tento způsob osvětlení je zpravidla mnohem méně účinný,
- kombinované – takové osvětlovací systémy sestávají z přímých a nepřímých systémů.

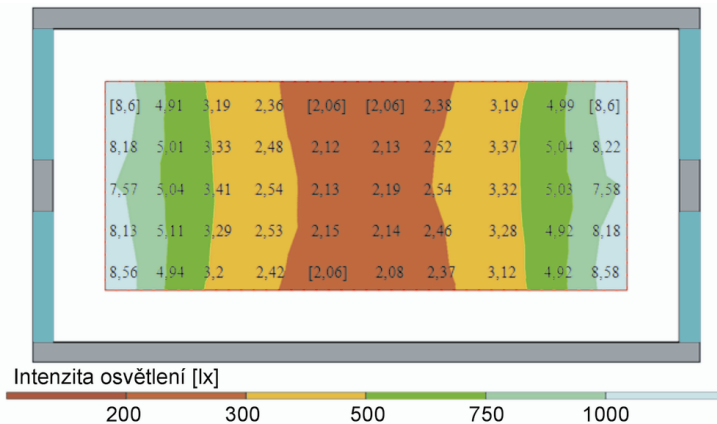
Osvětlovací systémy lze rozdělit i z hlediska směru přístupu denního světla do interiéru:

- boční – okenní otvory v obvodovém plášti budovy nebo ve střešní konstrukci umístěné tak, že denní světlo přichází z boku; u šikmých střešních oken je někdy těžké rozhodnout, zdali takový osvětlovací systém zařadit mezi boční nebo horní,
- horní – otvory umístěné ve střešní konstrukci umístěné tak, že světlo přichází převážně shora,
- kombinované – kombinace obou předchozích.

Boční osvětlovací systémy

Boční osvětlovací systémy jsou nejčastějšími v praxi se vyskytujícími osvětlovacími systémy. Osazují se převážně do obvodových stěn, není tedy takovým problémem těsnění proti vodě a vlhkosti. Boční systémy se navrhují jednostranné, dvoustranné i vícestranné. Okenní otvory jsou zpravidla osazeny ve výši očí, je tedy třeba při jejich návrhu a zejména při rozmístování pracovních míst vyřešit možný problém s oslněním od vysokého jasu otvorů. Denní světlo dopadá na horizontální pracovní rovinu převážně šikmo, a to i pod značnými úhly (převážně menším než 45°). Osvětlenost i D (činitel denní osvětlenosti) se v různých částech prostoru, zejména u jednostranných soustav, poměrně značně liší, výrazně klesá se vzdáleností od oken. Denní světlo od bočních otvorů je poměrně snadno regulovatelné, obvykle se používá slunolamů či žaluzií. Boční osvětlení je obvykle subjektivně lépe uživateli přijímáno, a to i v případech, kdy je úroveň denního osvětlení nižší. Účinnost bočních soustav je poměrně značně závislá na výšce místnosti – tedy zejména na výšce otvorů. Z horních částí otvorů vniká denní světlo pod příznivějším úhlem, rovněž jas oblohy je v těchto částech otvorů vyšší.

Na obr. 5.8 je znázornění dvoustranné boční soustavy a porovnání činitele denní osvětlenosti s intenzitou osvětlení, pro hodnotu venkovní osvětlenosti 20 klx.



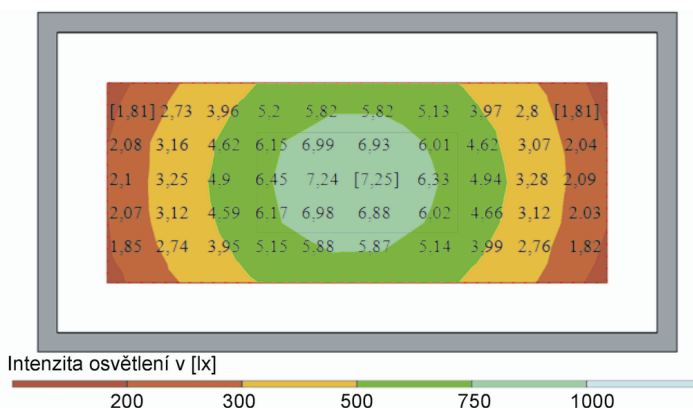
Obr. 5.8: Rozložení osvětlenosti v místnosti a D u dvoustranné boční osvětlovací soustavy

Poněkud jiné vlastnosti mají šikmá střešní okna, která je rovněž ve většině případů třeba zařadit mezi boční soustavy. Zvětšuje se horizontální a zmenšuje vertikální složka osvětlenosti. Větším nebezpečím je zde prostup nadměrného nežádoucího tepla do interiéru, zejména v letních měsících. Také konstrukce je složitější kvůli potřebě zabezpečení proti zatékání, šikmá okna se také poněkud více zvenku znečišťují.

Horní osvětlovací systémy

Tyto systémy jsou nejčastěji tvořeny světlíky různých tvarů a typů, které jsou osazeny do stropů (patří sem i střešní a boční okna). Horizontální složka denního osvětlení je u horních osvětlovacích systémů vyšší než vertikální, možnost výhledu z interiéru je však omezen nebo chybí vůbec. Při obvyklých směrech pohledu otvory svým jasnem zasahují do zorného pole jen zčásti, a to shora nebo vůbec ne.

Na obr. 5.9 je znázornění horní osvětlovací soustavy a porovnání činitele denní osvětlenosti s intenzitou osvětlení, pro hodnotu venkovní osvětlenosti 20 klx.

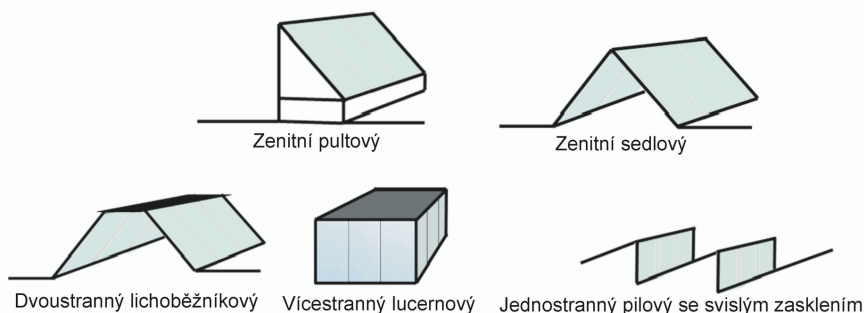


Obr. 5.9: Rozložení osvětlenosti v místnosti u horní osvětlovací soustavy

Nejčastějšími typy světlíků jsou:

- zenitní světlíky mohou být provedeny jako ploché, klenbové nebo čočkové; tyto světlíky mají nejvyšší účinnost, ale také nejvyšší tepelné zisky; nevýhodou je také velké znečišťování venkovních činných ploch světlíku,
- pilové světlíky mohou být jedno nebo oboustranné, mohou mít kolmé nebo šikmé zasklení; tyto světlíky lze orientovat na neosluněnou stranu a tím vytvořit lepší tepelný komfort v prostoru v letních měsících,
- lucernové, motýlkové, lichoběžníkové nebo další typy světlíků, jejichž vlastnosti závisí zejména na orientaci otvorů a sklonu výplně.

Na obr. 5.10 je ukázka některých typů světlíků.



Obr. 5.10: Horní osvětlovací otvory

Kombinované osvětlovací systémy

Kombinované osvětlovací systémy jsou tvořeny kombinací horních a bočních systémů nebo okny umístěnými a orientovanými tak, že vytvářejí denní osvětlení smíšených vlastností a není je možno jednoznačně zařadit. Typickým představitelem kombinovaných systémů jsou hluboké místnosti, které jsou zčásti osvětleny z boku okny a ve větší hloubce místnosti pak světlíky shora.

Materiály oken

Základním materiálem osvětlovacích systémů jsou světelně prostupné materiály. Prostup světla skly je zajímavý fyzikální jev, dochází při něm mimo jiné k následujícím jevům: prostupu, odrazu a lomu světla na rozhraní různých prostředí, rozptylu světla, absorpci světla, může dojít i k polarizaci a interferenci. Při praktickém použití se některé jevy zanedbávají, jiné zjednodušují. Rozlišujeme dva základní typy prostupu světla: přímý vstup a rozptylný vstup. Těmto odpovídají čiré – průhledné a naproti tomu průsvitné – neprůhledné materiály. Pro oba tyto druhy prostupů platí jiné zákony. U přímého prostupu je úhel paprsku dopadajícího shodný s úhlem paprsku vycházejícího. U rovnoměrně rozptylného prostupu je distribuce světla po prostupu všemi směry. Mezi těmito mezními teoretickými stavy existuje celá škála variant smíšeného nebo směrového prostupu. Typ prostupu je pro návrh a výpočet denního osvětlení zásadní údaj, který definuje distribuci světla v interiéru po průchodu otvorem. Použití rozptylného prostupu může vyrovnat velkou nerovnoměrnost denního osvětlení v prostoru, ale současně znemožňuje přirozený výhled do okolí. Je třeba si uvědomit, že propustnost je často spektrálně závislá, materiál tedy může např. dobře propouštět viditelné spektrum světla, může však současně být mnohem hůře propustný pro infračervené tepelné záření; ve většině případů je požadována co nejvyšší propustnost pro viditelnou část spektra denního světla, normálové propustnosti některých materiálů jsou uvedeny v tab. 2.2 a tab. 2.3.

Činitel prostupu je dále závislý na úhlu procházejícího paprsku s normálou. Důležitou vlastností projevující se při prostupu světla je lom světla na rozhraní obou prostředí. Lom světla je způsoben různými rychlostmi šíření světla v obou prostředích a úhel lomu je úměrný podílu těchto rychlostí. Úhel lomu je pak také limitním úhlem dopadu pro úspěšný vstup rozhraním.

Mechanická odolnost a pevnost. Běžná stavební skla jsou pevná, ale křehká. V případě nebezpečí mechanického poškození lze použít tvrzených skel, někdy je řešením použití speciálních fólií, ty však většinou snižují propustnost.

Odolnost proti stárnutí při přímém slunečním svitu. Tato vlastnost má význam zejména u syntetických – organických materiálů, běžná anorganická skla těmto vlivům příliš nepodléhají. Stárnutí materiálů může významným způsobem snížit zejména propustnost.

Tepelný odpor stavebních skel je nízký, proto se v praxi provádí zdvojení či ztrojení.

K zajištění tepelných a protihlukových vlastností oken se v praxi používá několik, nejčastěji dvou nebo tří, vrstev propustných materiálů oddělených od sebe vrstvou vzduchu, popř. jiného lépe tepelně izolujícího plynu. Mluvíme pak o dvojitém nebo trojitým zasklení. Jednotlivé vrstvy bývají nejčastěji ze stejného materiálu, k dosažení speciálních vlastností lze použít i materiály různé.

Důležitou součástí oken i světlíků jsou rámové konstrukce. Nejčastěji bývají provedeny jako dřevěné, kovové či plastové. Měly by mít dostatečnou pevnost a tepelný odpor, ale přitom by jejich tloušťka měla být co nejmenší. Při výpočtu je konstrukce uvažována činitelem konstrukce otvoru, jako podílem plochy světelně činné plochy k ploše celého otvoru. V praxi se tento činitel pohybuje mezi 0,5 až 0,8, výjimečně vyšší. Materiály konstrukcí by měly mít současně pokud možno co nejvyšší činitel odrazu, aby bylo zamezeno nevhodným kontrastům jasů.

Regulace denního světla

Protože je denní osvětlení během dne a roku značně proměnlivé, je třeba k dosažení požadovaného komfortu, zejména v prostorech s vyšší zrakovou náročností a v prostorech s okny orientovány na osluněnou stranu, vybavit osvětlovací otvory regulačními prostředky. Tyto prostředky mohou být pevné nebo pohyblivé, mohou být umístěny vně objektu, uvnitř místnosti nebo v případě vícenásobného zasklení i mezi jednotlivými vrstvami světlo propustných materiálů. Regulační prostředky by měly být zhotoveny z difúzních – matných materiálů, aby bylo zabráněno z hlediska oslnění nebezpečným zrcadlovým odrazům. Mohou být konstruovány jako pevné nebo jako pohyblivé. Pohyblivá zařízení umožňují regulovat prostup světla podle aktuálního stavu oblohy, regulace může být ruční nebo i automatická. Výborným řešením jsou lamelové žaluzie.

U vnějších zařízení se jedná zejména o slunolamy, žaluzie nebo rolety. Výhodou umístění regulačních zařízení vně je fakt, že teplo, které vzniká pohlčením části denního záření dopadajícího na regulační zařízení, zůstává mimo místnost a nezvyšuje její tepelnou zátěž. Nevýhodou je však větší znečišťování takových zařízení a obvykle horší přístup k údržbě. Z vnitřních zařízení se nejčastěji jedná o žaluzie, rolety nebo závěsy.

Ovládání regulačních zařízení může být ruční nebo automatické. Moderní systémy tzv. „inteligentních“ budov umožňují navrhnout plynulou regulaci denního i umělého osvětlení podle skutečných okamžitých vlastností denního světla a tím docílit nejen požadovaného světelného a tepelného komfortu, ale současně i docílit úspor na spotřebě elektrické energie.

5.3. Výpočty denního osvětlení

Parametry denního osvětlení lze stanovit měřením v reálném prostoru, měřením na modelu, které lze použít ve speciálních případech nebo výpočtem. Měření v reálném prostoru je podmíněno rovnoměrně zataženou oblohou. Měření na modelu zase vyžaduje přesný model prostoru i oblohy. Z těchto důvodů je výpočet denního osvětlení nejschůdnější metodou.

Předpoklady výpočtu

Aby bylo možno stanovit denní osvětlení výpočtem, je třeba skutečný prostor nahradit matematicko – fyzikálním modelem prostoru.

Základním předpokladem výpočtu je použití rovnoměrně zatažené oblohy. Standardně se používá obloha s gradací jasu 1 : 3 pro tmavý terén, pro výše položené oblasti i obloha s gradací jasu 1 : 2. Následuje náhrada skutečné konstrukce oken či světlíků osvětlovacími otvory, které simulují jejich skutečné vlastnosti následujícími činiteli ztrát světla. Činitel prostupu běžného čirého skla je přibližně 0,92. Průběh prostupu světla lze použít buď přímý, nebo rovnoměrně rozptylný - difúzní.

Výpočetní metody

Metod k výpočtu či stanovení parametrů denního osvětlení je velké množství. Většina metod se zabývá výpočtem D na horizontální rovině v místnosti. Základní dělení výpočetních metod je na metody orientační a podrobné.

- Orientační metody se používají zejména při návrhu a umístění stavby v přípravných fázích projektu.
- Podrobné metody pak slouží zpravidla v průběhu projektové přípravy k detailnímu návrhu nebo k ověření parametrů již realizovaných staveb.

Z důvodu existence velkého množství různých výpočetních metod není postup výpočtu v současné době normalizován. Naopak jsou však poměrně přesně definovány vlastnosti, jaké musí podrobná výpočetní metoda splňovat, aby byl výpočet v souladu s normou. Těmito vlivy, které musí umět výpočetní postup zohlednit, jsou:

- rozložení jasu rovnoměrně zatažené oblohy s gradací 1 : 3, popř. 1 : 2,
- ztráty světla při prostupu otvory,
- stínění venkovními překážkami,
- odraz světla od venkovních překážek – předmětů,
- mnohonásobný odraz světla v interiéru.

Metody k výpočtu denního osvětlení lze rozdělit podle principu výpočtu do následujících skupin:

- tokové (účinnostní) metody,
- bodové metody,

- empirické metody,
- statistické simulace světelného prostředí.

Tokové (účinnostní) metody

Tyto metody jsou založeny na použití fyzikálního vztahu: (5.19)

$$E = \frac{\Phi}{A} \quad (5.19)$$

kde E - průměrná osvětlenost plochy (lx); Φ - světelný tok dopadající na plochu (lm); A – plocha, na kterou světelný tok dopadá (m²).

Z principu metod vyplývá, že jsou použitelné k výpočtu průměrných hodnot, nikoliv k výpočtu hodnot v konkrétních výpočtových bodech. Rozložení v prostoru je pak třeba zjistit jiným způsobem.

Bodové metody

Bodové metody, jak z jejich názvu vyplývá, slouží k výpočtu D v jednotlivých kontrolních bodech prostoru. Tyto metody jsou založeny na použití fyzikálního vztahu:

$$dE = L \cdot d\Omega = L / r^2 \cdot dA = dl / r^2 \quad (5.20)$$

kde dE - příspěvek osvětlenosti plochy (lx); L - jas zářící plochy vytvářející osvětlenost (cd·m⁻²); d Ω - prostorový úhel, pod kterým je z bodu vidět zářící plochu (sr); dA - průmět zářící dostatečně malé plochy do směru plocha – bod (m²); dl - svítivost plochy (cd); r - vzdálenost zářící plochy od bodu (m).

Princip je založen na záření tzv. bodového zdroje světla, neboli velmi malého světelného zdroje vzhledem k jeho vzdálenosti k výpočetnímu bodu. Tato velikost je charakterizována tzv. dělicím poměrem. Dělicí poměr je poměr vzdálenosti světelného zdroje od počítaného bodu k rozměru svítící plochy. Při použití bodové metody je pak důležité zvolit, při jakém dělicím poměru je již světelný zdroj dostatečně malý. V praxi se používá hodnot například 3, 5, 7 nebo 10, kde hodnota 3, která byla zmíněna v normě, se zdá poněkud malá. Při použití moderních počítačů doporučujeme hodnoty vyšší.

5.4. Sdružené osvětlení

Sdružené osvětlení, při dlouhodobém působení, není z hlediska vlivu na člověka rovnocenné v plném rozsahu denního osvětlení, ale je podstatně příznivější, než osvětlení pouze umělé.

Denní složka sdruženého osvětlení se navrhuje a posuzuje podle zásad uvedených v ČSN 73 0580-1, doplňující umělá složka podle ČSN EN 12464-1.

Při návrhu a posuzování regulace sdruženého osvětlení se bere v úvahu i stav jasné oblohy s působením přímého slunečního světla. Hodnoty sdruženého osvětlení se stanoví a posuzují v kontrolních bodech na srovnávací rovině v celém vnitř-

ním prostoru nebo v jeho funkčně vymezených částech. Hodnoty osvětlenosti sdruženým osvětlením za určitého stavu oblohy a venkovní osvětlenosti jsou součtem složky denní osvětlenosti a doplňující umělé složky.

Vnitřní prostory se sdruženým osvětlením jsou rozděleny na pásma:

- s vyhovujícím denním osvětlením,
- se sdruženým osvětlením s úrovní denního osvětlení nižší než požaduje norma ČSN 73 0580-1,
- s osvětlením pouze s umělou úrovní denního osvětlení nižší, než požaduje norma.

Celkové sdružené osvětlení ve vnitřních prostorech nově navrhovaných staveb nebo v jejich funkčně vymezených částech se může použít pouze v odůvodněných případech, kdy ze závažných příčin (technologických, výrobních, mikroklimatických, stavebně konstrukčních a urbanistických) není bez újmy na jiných společensky důležitých činitelích stavby docílit vyhovujícího denního osvětlení. Celkové sdružené osvětlení je současné osvětlení denním a doplňujícím celkovým nebo odstupňovaným osvětlením.

Požadavky na sdružené osvětlení

Při návrhu, posuzování a užívání sdruženého osvětlení se dbá na splnění základních požadavků, a to:

- dosažením úrovně sdruženého osvětlení, nezbytné pro předpokládané zrakové činnosti v celém vnitřním prostoru,
- dosažením vhodného rozložení světelného toku a převažujícího směru osvětlení v souladu s charakterem využití vnitřního prostoru, rozmístěním a zrakovými činnostmi všech uživatelů tohoto prostoru,
- dosažením rovnoměrnosti sdruženého osvětlení potřebné pro předpokládané zrakové činnosti v celém vnitřním prostoru,
- dosažením vyhovujícího rozložení jasů ploch ovlivňující vidění a zrakovou pohodu a jejich kontrastů v souladu se zrakovou činností,
- vyloučením oslnění přímým slunečním světlem,
- vyloučením oslnění odraženým světlem,
- vyloučením vzniku siluetového efektu tam, kde pozorování předmětu proti osvětlovacímu otvoru je důležitou součástí zrakového úkolu.

Ve vnitřním prostoru se sdruženým osvětlením nebo v jeho funkčně vymezené části musí být zachován dostatečný podíl denní složky v závislosti na obtížnosti zrakových činností, vyjádřené zařazením do tříd (dle ČSN 73 0580-1), musí být splněny minimálně průměrné hodnoty činitele denní osvětlenosti. Průměrná hodnota činitele denní osvětlenosti 1 % musí být splněna ve všech případech, viz tab. 5.3.

Třída zrakové činnosti	Hodnota činitele denní osvětlenosti v (%)	
	Minimální D_{min}	Průměrná D_m
I, II	1,0	2,5
III	0,7	2,0
IV	0,5	1,5
V – VII	0,5	1,0

Tab. 5.3: Hodnoty činitele denní osvětlenosti

Osvětlenost doplňujícím umělým světlem se volí vždy tak, aby byly splněny všechny požadavky kladené v daném případě na sdružené osvětlení. Ve vnitřních prostorech nebo v jejich funkčně vymezených částech se sdruženým osvětlením musí být hodnoty udržované osvětlenosti způsobené doplňujícím celkovým nebo doplňujícím odstupňovaným umělým osvětlením nejméně takové, jaké odpovídá normě ČSN EN 12464-1. U udržovaných osvětleností 200 až 500 lx včetně se však navýší o jeden stupeň řady osvětleností dle normy ČSN EN 12665:2003.

Rovnoměrnost sdruženého osvětlení se posuzuje jako poměr celkové minimální a maximální osvětlenosti v síti kontrolních bodů reprezentujících vnitřní prostor nebo funkčně vymezenou část. Minimální požadovaná rovnoměrnost je 0,2 při 20 klx venkovní nezastíněné roviny.

Poměry jasů vnitřních povrchů se sdruženým osvětlením mají vyhovovat normě ČSN 73 0580-1 a posuzují se dle stavu oblohy ČSN 36 0020. Mezi tyto povrchy se nezařazují zdroje světla (svítidla a osvětlovací otvory, respektive obloha viditelná osvětlovacími otvory). Jasy svítidel se posuzují dle normy ČSN EN 12464-1:2011. Jasy osvětlovacích otvorů mají vyhovovat ČSN 730580-1. V případech, kdy je úhel mezi běžným směrem pohledu a rovinou osvětlovacích otvorů s průhledem na oblohu převážně větší jak 30°, doporučuje se podrobnější posouzení míry oslnění v závislosti na poloze otvorů, jejich prostorových úhlech. V případě nevyhovujících poměrů oslnění se použije ke zmenšení kontrastu jasů vnitřních povrchů a jasů osvětlovacích otvorů jednoho z těchto způsobů:

- zvýší se na potřebnou úroveň doplňující umělé osvětlení a tím i úroveň jasů vnitřních povrchů,
- omezí se jas osvětlovacích otvorů.

Orientačně je možné považovat jasové poměry za vyhovující, pokud poměr průměrného jasu pozorovaného předmětu a průměrného jasu osvětlovacího otvoru nepřekročí pro jednotlivé třídy zrakových činností hodnoty uvedené v tab. 5.4.

Třída zrakové činnosti	Poměr jasů
I, II, III	1 : 40
IV	1 : 80
V, VI	1 : 200
VII	1 : 300

Tab. 5.4: Poměry jasů pozorovaných předmětů a osvětlovacího otvoru

Návrh a hodnocení sdruženého osvětlení

Při návrhu dbáme na správný výběr světelného zdroje, který je potřeba volit, aby se spektrálním složením co nejvíce přibližoval dennímu světlu. Hodnota, která se doporučuje pro minimální činitel podání barev, je 80. Umělé osvětlení je třeba navrhnout tak, aby byly dostatečně osvětleny nejen místa zrakového úkolu, ale také odrazné plochy prostoru. Svítidla je pak třeba rozmístit v prostoru s ohledem na orientaci osvětlovacích otvorů. Při návrhu sdruženého osvětlení je třeba brát v úvahu následující stavy oblohy :

- rovnoměrně zatažená obloha s osvětleností 5 000 lx,
- rovnoměrně zatažená obloha s osvětleností 20 000 lx,
- jasná obloha s přímým slunečním svitem.

Uvedené stavy je třeba zohlednit zejména při návrhu regulace doplňujícího umělého osvětlení. Protože denní složka sdruženého osvětlení sama o sobě nestačí poskytnout dostatečné množství světla pro zrakovou činnost, je třeba aby chybějící množství dodalo osvětlení umělé. Potřebné množství umělého osvětlení závisí samozřejmě na okamžitém stavu oblohy, regulace může být navržena buď jako ruční, nebo jako automatická, skoková nebo plynulá. Tato regulace musí zejména zajistit hospodárné využití elektrické energie. Ovládací zařízení, která se používají k regulaci umělé složky sdruženého osvětlení, je třeba v prostoru označit.

Výsledky výpočtu sdruženého osvětlení se udávají v luxech s uvedením hodnoty venkovní osvětlenosti, pro kterou byly stanoveny.

Podle současného poznání existuje určitá mez, nad kterou je ještě denní osvětlení využitelné ke zrakové činnosti a současně ještě může být funkční i pro požadovanou stimulaci biorytmů organismu. Pod tuto mez je již denního světla v prostoru tak málo, že je již nelze efektivně využít a poté přistupujeme k tomuto prostoru jako k bezokennímu.

Při nedostatku denního osvětlení je nutné v prostoru použít umělé osvětlení. Jedná-li se o bezokenní prostor, navrhuje se umělé osvětlení jako denní bez uvažované spolupráce s denním světlem. Jako částečnou náhradu denního světla je v prostorech bez denního světla s trvalým pobytem doporučeno zvýšit požadovanou osvětlenost umělým světlem o jeden stupeň řady. V případě, že denní osvětlení je takové úrovně, že je ještě využitelné, navrhuje se doplňující umělé osvětlení pro spolupráci s denním světlem.

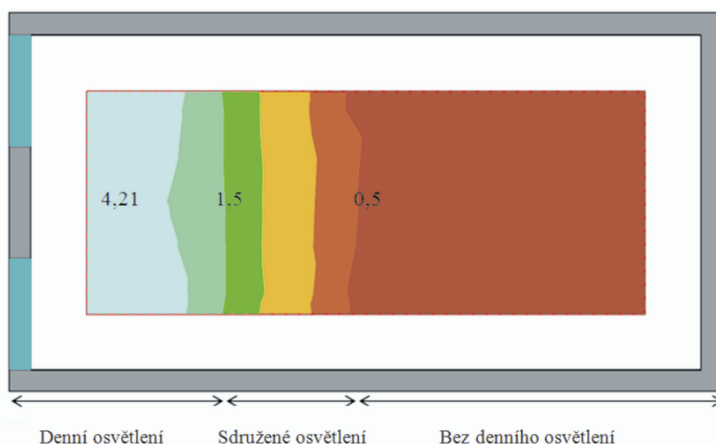
Prostory bez denního osvětlení jsou z hygienického hlediska pro trvalý pobyt osob nevhodné. Musí-li se v takových prostorech, zejména z technologických důvodů vykonávat nutné činnosti, musí se organizačními opatřeními zajistit, aby pracovníci z těchto prostorů měli možnost každodenního kontaktu s denním světlem. Zejména se používají tato opatření:

- přestávky v práci 2 až 3 hodiny,
- zkrácená pracovní doba,
- práce obden,
- cyklické směnování,

- náhrada denního světla umělým s vysokou osvětleností.

Na základě výše uvedených úvah se v praktických prostorech mohou vyskytovat podle úrovně denního osvětlení až tři oblasti podle následujícího obr. 5.11:

- oblast s vyhovujícím denním osvětlením dle normy. V této oblasti se umělé osvětlení navrhuje jako noční, za obvyklých podmínek oblohy zde během dne není třeba svítit umělým světlem,
- oblast sdruženého osvětlení, kde denní osvětlení vyhovuje dle normy. Umělé osvětlení se navrhuje pro spolupráci s denním světlem. Tento návrh není zrovna jednoduchý, protože umělé světlo jednak musí reagovat na změny stavu oblohy, ale také musí umožnit částečně vyrovnat nepříznivé jasové poměry dále od oken způsobené nízkou úrovní denního osvětlení,
- oblast s absolutním nedostatkem denního světla nebo chybějícím denním světlem, které je třeba posuzovat jako prostory bez denního osvětlení. Umělé osvětlení zde není závislé na stavu oblohy, ale pouze na přítomnosti osob a jejich činnostech.



Obr. 5.11: Oblasti denního osvětlení

5.5. Oslunění budov

Sluneční záření ovlivňuje základní biologické pochody lidského organismu, má vliv na jeho zdraví i náladu. Proslunění bytů je všeobecně považováno za znak komfortního bydlení. Proslunění je dále ceněno zejména v předškolních a rekreačních zařízeních. Účelem proslunění není vidění a jeho základní podmínkou je přístup přímého slunečního záření do interiéru. Proslunění vnitřního prostoru umožňuje snížit energetickou náročnost v zimním období, naopak může znamenat nadměrnou tepelnou zátěž v období letním. Okna mají tedy být opatřena zařízeními, která umožní regulovat pronikání přímého slunečního světla do interiéru. Požadavky na oslunění jsou vesměs udány dobou, po kterou má být obývaná jednotka prosluněna. Možná denní doba proslunění je značně závislá na ročním období a na zeměpisné šířce.

Požadavky na proslunění

Požadavky na proslunění bytů jsou definovány v normě. Byt je prosluněn tehdy, je-li součet prosluněných podlahových ploch roven nejméně 1/3 celkové ploše obytných místností. Přitom jsou uvažovány hloubky místností pouze do 2,3 násobku světlé výšky místnosti. Obytná místnost je prosluněná, jsou-li splněny následující podmínky:

- půdorysný úhel paprsků s rovinou vnitřního zasklení musí být alespoň 25°,
- úhel dopadu slunečních paprsků s normálou otvoru musí být menší než 70°,
- celková plocha osvětlovacích otvorů musí být alespoň 1/10 podlahové plochy místnosti,
- nejmenší skladebný rozměr každého uvažovaného otvoru musí být alespoň 900 mm.

V jednoduchých případech lze použít diagramy zastínění uvedené v normě. Ve složitějších případech je pak možno proslunění hodnotit pomocí slunečních diagramů nebo specializovaných simulačních programů.

Požadavky normy je možné chápat také jako právo na Slunce. Z tohoto hlediska je nutno při návrhu realizace nové výstavby nejen posoudit podle účelu stavby proslunění jejích místností v jednotlivých obytných jednotkách, ale také vliv nové stavby na její okolí. Je třeba zkontrolovat, zdali se realizací stavby nezhorší podmínky proslunění bytů v okolních budovách pod normovanou úroveň. Složitá se může vyskytnout situace, kdy podmínky proslunění v okolních objektech nevyhovují normě již v základním stavu – před realizací. Podobně jako u denního osvětlení se zde potkávají dva protichůdné požadavky:

- právo na Slunce - nevyhovující stav by se již dále neměl zhoršovat,
- právo na výstavbu na vlastním pozemku. Tento rozpor v současné době není uspokojivě řešen, měl by jej v budoucnu řešit nějaký vyšší právní předpis.

Pomocí specializovaných programů lze provádět simulace proslunění pro různé roční období velmi snadno. Východiskem je matematický model budov, ve kterých jsou zobrazeny byty včetně jejich osvětlovacích otvorů. Pro výpočet je dále třeba zvolit posuzované datum. Program pak už dále prochází jednotlivé místnosti a vyhodnocuje jejich dobu proslunění. Výsledkem je pak nejen doba proslunění a splnění požadavků normy, ale i přehledný grafický diagram.

5.6. Literatura ke kapitole

- [1] ČSN 73 0580-1:1996 – Denní osvětlení budov – základní požadavky
- [2] ČSN 73 0580-2:1992 – Denní osvětlení budov – denní osvětlení obytných budov
- [3] ČSN 36 0020-1:1996 – Sdružené osvětlení – základní požadavky
- [4] ČSN EN 12464-1 Světlo a osvětlení - Osvětlení pracovních prostorů
- [5] ČSN 73 4301 – Proslunění obytných prostorů
- [6] Rybář P., Šesták F., Hraška J., Juklová M., Vaverka J.: Denní osvětlení a oslunění budov, ERA 2002

- [7] Kittler R., Kittlerová L.: Návrh a hodnotenie denného osvetlenia, ALFA Bratislava 1975
- [8] Hraška J., Rybár P.: Simplified 1987
- [9] Matoušek J.: DOS-T 08.06.00.002 12/1998 – Denní osvětlení v budovách
- [10] Matoušek J.: DOS-T 08.06.00.003 01/1999 - Sdružené osvětlení budov
- [11] Darula S., Kittler R., Kocifaj M., Pich J., Mohelníková J., Vajkay F.: Osvětlování světlovody, Grada 2009

6. Osvětlování vnitřních prostorů

Aby lidé mohli vykonávat zrakové úkoly účinně a přesně, musí jim být poskytnuto vhodné osvětlení. Osvětlení může být poskytnuto denním osvětlením, umělým osvětlením nebo jejich kombinací. Úroveň viditelnosti a pohody požadována pro širokou řadu pracovních prostorů závisí na druhu a trvání činnosti.

Požadavky na osvětlení vnitřních prostorů v určité etapě vývoje společnosti jsou kompromisem vycházejícím z obecných zákonitostí zrakového vnímání, rozsáhlých aplikačních experimentů a statistických šetření v reálných interiérech na jedné straně, a z technických a ekonomických možností společnosti na straně druhé.

Při odvozování světelně-technických parametrů osvětlovacích soustav se vychází ze dvou souhrnných kritérií charakterizujících úroveň vidění. Jedním je zrakový výkon a druhým zraková pohoda.

Zrakový výkon je určen spíše fyziologickými vlastnostmi lidského zraku a pro danou zrakovou činnost je poměrně objektivním měřítkem úrovně osvětlení, zpravidla vyhovujícím pro prostory určené pro jasně definovanou činnost, tedy pracovní prostory.

Zraková pohoda zahrnuje i psychické činitele. Z tohoto hlediska je více ovlivněna subjektivními vlastnostmi uživatelů, a proto je upřednostňována v prostorech společenských, kulturních a oddechových (například v restauracích, kulturních domech, bytech a pod).

Cílem osvětlení je vytváření zrakové pohody, což je příjemný a příznivý psychofyziologický stav organismu, vyvolaný optickou situací vnějšího prostředí, který odpovídá potřebám člověka při práci a při odpočinku a umožňuje zraku optimálně plnit jeho funkci. Správné osvětlení, navržené podle zásad současné světelné techniky a respektující psychologické, fyziologické a biologické požadavky ovlivňuje kvalitu práce, únavu a zdravotní stav lidského organismu.

Umělé osvětlení

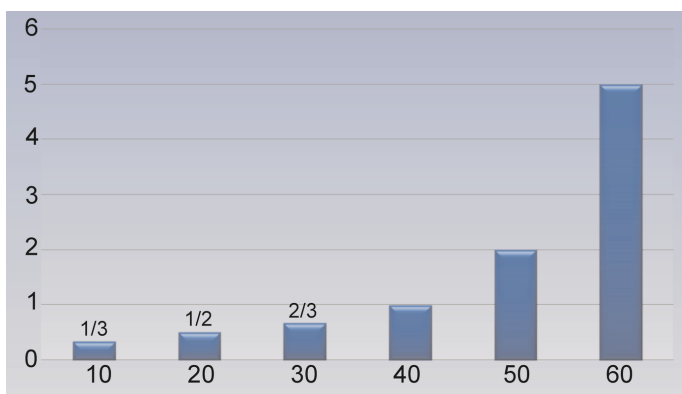
Umělé osvětlení je realizováno pomocí umělých světelných zdrojů. Jejich světlo nahrazuje denní světlo tam, kde je ho nedostatek, např. vzdálená místa od oken nebo při zastínění pracovní plochy překážkou. Moderní světelné zdroje umožňují vytvořit ve vnitřních prostorách umělé osvětlení kvantitativně srovnatelné s denním světlem.

Intenzitu umělého osvětlení navrhujeme na požadovaný zrakový výkon. Požadované intenzity osvětlení přiřazené pracovním činnostem jsou uvedeny v tab. 6.1.

Z tabulky plyne skutečnost, že čím je obtížnější zrakový výkon, tím je vyšší intenzita osvětlení na základě toho, že oko musí rozlišovat menší detaily. Potřebná intenzita se zvyšuje s délkou zrakové činnosti, s rychlostí změn pozorovaného detailu a s menšími kontrasty pozorovaných ploch. Konkrétní hodnoty osvětlení pro různé druhy činnosti jsou uvedeny v normě ČSN EN 12464-1, která byla převzata z evropské normy pro osvětlování. Hodnoty osvětlenosti pro stejný zrakový výkon se rovněž zvyšuje s věkem člověka. Tato závislost je uvedena na obr. 6.1.

Osvětlenost (lx)	Prostor, místo, druh činnosti
20-30-50	základní jednoduchá zraková orientace v prostředí
50-75-100	jednoduchá orientace, kratší doba jednoduché činnosti
100-150-200	prostory, které nejsou dlouhodobě užívány pro pracovní účely, prostory obytné a společenské
200-300-500	zraková místa pro jednodušší, běžné pracovní úkoly (kanceláře, školy)
500-750-1 000	zraková místa pro vizuálně náročnější déle trvající pracovní úkony
1 000-1 500-2 000	zvláště náročné zrakové úkoly
více než 2 000	velmi náročné zrakové úkoly

Tab. 6.1: Doporučené rozsahy osvětlenosti podle CIE



Obr. 6.1: Potřebná úroveň osvětlení pro stejný zrakový výkon při různém věku lidí

Základem dobré osvětlovací praxe je splnit, kromě požadované osvětlenosti, další kvalitativní a kvantitativní požadavky. Požadavky na osvětlení jsou určeny uspokojením základních lidských potřeb jako je zraková pohoda (když se pracovníci velmi dobře cítí, nepřímo to přispívá k vysoké úrovni produktivity), zrakový výkon (když jsou pracovníci schopni vykonávat zrakové úkoly i při špatných podmínkách a během dlouhé doby) a bezpečnost.

Hlavními parametry určujícími světelné prostředí jsou rozložení jasu, osvětlenost, oslnění, směrovost světla, podání barev, barevný tón světla a míhání světla.

Rozložení jasů - je základním kvalitativním parametrem osvětlení. Pro zrakový výkon, zrakovou pohodu a zamezení únavy jsou rozhodující jasy a jejich rozložení v zorném poli. Optimální poměr jasu místa úkolu k jasu okolí úkolu a jasu vzdáleného okolí je 10:4:3. Účelného rozložení jasů je možno dosáhnout vhodnou úpravou povrchů (stěny, stropy, nábytek, atd.) a vhodnou volbou světelných zdrojů.

Rozložení jasu v zorném poli určuje úroveň adaptace zraku, která ovlivňuje viditelnost úkolu.

Velmi dobře vyvážený adaptační jas je potřebný ke zvětšení zrakové ostrosti (ostrosti vidění), kontrastní citlivosti (rozlišení malých poměrných rozdílů jasu), a účinnosti zrakových funkcí (jako akomodace, konvergence, zmenšování zornice, očních pohybů atd.).

Rozložení jasu v zorném poli ovlivňuje také zrakovou pohodu. Z tohoto důvodu je nutno vyloučit příliš velké jasy, jež mohou způsobit oslnění, příliš velké kontrasty jasů, jež mohou způsobit únavu v důsledku trvalé readaptace zraku a příliš malé jasy a kontrasty jasů, jež vedou k monotónnímu nestimulujícímu pracovnímu prostředí.

K vytvoření vyváženého rozložení jasů všech povrchů musí být vzaty v úvahu a určeny činitele odraznosti a osvětlenosti povrchů. K zabránění přitížení a ke zvýšení adaptační úrovně a pohody osob v budově jsou velmi žádoucí světlé povrchy interiéru, zvláště stěn a stropu.

Projektant osvětlení musí zvažovat a volit vhodné činitele odrazu a hodnoty osvětlenosti vnitřních povrchů podle těchto doporučení uvedených v tab. 6.2.

Odrážná plocha	Činitel odrazu povrchů
strop	0,7 až 0,9
stěny	0,5 až 0,8
podlaha	0,2 až 0,4

Tab. 6.2: Účelný rozsah činitelů odrazu hlavních povrchů místnosti

Osvětlenost a její rozložení v místě zrakového úkolu a v jeho bezprostředním okolí má velký vliv na to, jak rychle, bezpečně a pohodlně osoba vnímá a vykonává zrakový úkol.

Doporučené hodnoty osvětlenosti, v místě zrakového úkolu, jsou pro přesně definované činnosti uvedené v normě ČSN EN 12464-1. V normě jsou uvedeny na srovnávací rovině, jež může být vodorovná, svislá nebo nakloněná. Průměrná osvětlenost v každém místě zrakového úkolu se nesmí zmenšit pod hodnotu uvedenou v normě, bez ohledu na stáří a stav osvětlovací soustavy. Tyto hodnoty platí pro normální zrak a při zahrnutí psychofyziologických hledisek jako zrakové pohody a celkové pohody, požadavků na zrakové úkoly, zrakové ergonomie, praktických zkušeností, bezpečnosti a hospodárnosti.

Hodnota osvětlenosti může být upřesněna nejméně o jeden stupeň řady osvětleností, liší-li se zrakové podmínky od normálních předpokladů.

Činitel přibližně 1,5 reprezentuje nejmenší významný rozdíl subjektivního účinku osvětlenosti. V normálních podmínkách osvětlení se požaduje přibližně 20 lx pro hraniční (mezí) rozeznatelnost rysů lidského obličej, a tato hodnota byla přijata jako nejnižší pro řadu osvětleností. Doporučená řada osvětleností (v luxech) je:

20 – 30 – 50 – 75 – 100 – 150 – 200 – 300 – 500 – 750 – 1 000 – 1 500 – 2 000 – 3 000 – 5 000

Požadovaná udržovaná osvětlenost musí být zvětšena, když je zraková činnost kritická, chyby se nákladně opravují, přesnost a vysoká produktivita jsou velmi

důležité, zrakové schopnosti pracovníků jsou pod normálem, zrakové úkoly jsou neobvykle malé a málo kontrastní, úkol je vykonáván po neobvykle dlouhou dobu.

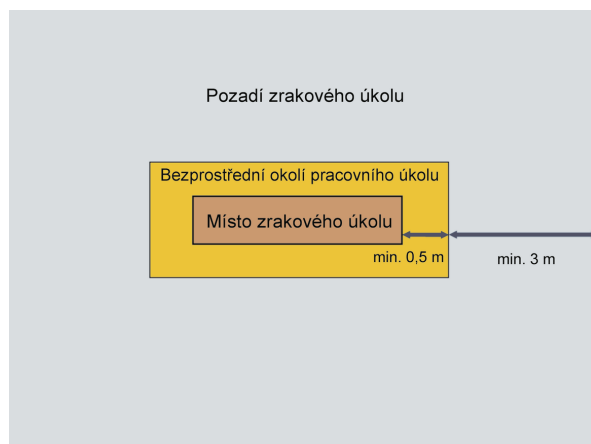
Naopak požadované udržované osvětlenosti je možné zmenšit, když kritické detaily úkolu jsou neobvykle velké nebo mají velký kontrast nebo úkol je vykonáván po neobvykle krátkou dobu.

V prostorech s trvalým pobytem osob nesmí být udržovaná osvětlenost menší než 200 lx.

Pro pracovní místa, kde není známa velikost anebo poloha místa zrakového úkolu se postupuje takto:

- buď se celá plocha považuje za místo zrakového úkolu,
- nebo je celá plocha rovnoměrně ($U_0 \geq 0,4$) osvětlena na hodnotu osvětlenosti stanovenou projektantem. Pokud se místo zrakového úkolu stane známým, musí se návrh osvětlovací soustavy změnit tak, aby byly zajištěny požadované osvětlenosti.

Pokud není znám typ zrakového úkolu, musí projektant odhadnout možný typ zrakových úkolů a stanovit pro ně požadované parametry, přijmout předpoklady o pravděpodobných zrakových úkolech a stanovit požadavky zrakového úkolu. Pokud není znám typ zrakového úkolu, má projektant předpokládat nejpravděpodobnější zrakový úkol a uvažovat s příslušnými požadavky zrakového úkolu.



Obr. 6.2: Minimální rozměry bezprostředního okolí a pozadí úkolu ve vztahu k místu zrakového úkolu

Legenda k obr. 6.2. 1 – místo zrakového úkolu, 2 – bezprostřední okolí zrakového úkolu (pás minimálně 0,5 m kolem místa zrakového úkolu uvnitř zorného pole), 3 – pozadí zrakového úkolu (minimálně 3 m široká přilehlá plocha k bezprostřednímu okolí úkolu v mezích prostoru).

Osvětlenost pozadí úkolu - v pracovních prostorech, zejména v těch bez denního osvětlení, musí být velká část všech využívaných a obsazených pracovních míst osvětlena. Oblasti známé jako pozadí úkolu, které mají šířku aspoň 3 metry a přiléhají k bezprostřednímu okolí úkolu v mezích prostoru, musí být

osvětleny na hodnotu udržované osvětlenosti rovnou 1/3 osvětlenosti bezprostředního okolí úkolu.

Osvětlenosti bezprostředního okolí úkolu - musí souviset s osvětlením úkolu a musí poskytovat vyvážené rozložení jasů v zorném poli. Velké prostorové změny osvětlenosti v okolí úkolu mohou způsobit namáhání zraku a zrakovou nepohodu. Osvětlenost bezprostředního okolí může být menší než osvětlení úkolu, avšak nesmí být nižší než hodnoty uvedené v tab. 6.3.

Osvětlenost místa zrakového úkolu (lx)	Osvětlenost bezprostředního okolí úkolu (lx)
≥ 750	500
500	300
300	200
200	150
150	150
100	100
≤50	≤50
rovnoměrnost osvětlení: ≥ 0,7	rovnoměrnost osvětlení: ≥ 0,5

Tab. 6.3: Rovnoměrnost osvětlení a poměr osvětlenosti bezprostředního okolí úkolu

Rovnoměrnost osvětlení - místa zrakového úkolu (U_o) nesmí být menší než minimální hodnoty uvedené v tabulkách v kapitole 5 normy ČSN EN 12464-1. Rovnoměrnost osvětlení při osvětlení umělým světlem nebo svítíky musí být u bezprostředního okolí úkolu $U_o > 0,40$, a u pozadí úkolu $U_o > 0,10$.

Při osvětlení okny ve větších prostorech, aktivních prostorech a v pozadí úkolů dostupnost denního světla se vzdáleností od oken rychle klesá.

Oslnění - ve vnitřních prostorech se hlavně jedná o oslnění relativní, které může být způsobeno buď přímo zdroji světla, svítidly, nebo odrazy od lesklých povrchů. Při návrhu osvětlení musíme oslnění oka omezit na nejmenší míru dle platných norem. Toho se dosáhne správným rozmístěním svítidel, užitím svítidel s malým jasem, vhodnou mřížkou a použitím rozptylných povrchů.

Rušivé oslnění - činitel oslnění přímo od svítidel osvětlovací soustavy vnitřního prostoru musí být stanoven jednotným systémem hodnocení oslnění tabulkovou metodou CIE (UGR) podle vzorce:

$$UGR = 8 \log_{10} \left(\frac{0,25}{L_b} \sum \frac{L^2 \omega}{p^2} \right) \quad (6.1)$$

kde L_b - jas pozadí vypočtený jako E_{ind}/π a E_{ind} je svislá nepřímá osvětlenost oka pozorovatele v ($cd \cdot m^{-2}$); L - jas svítící části každého svítidla ve směru oka pozorovatele v ($cd \cdot m^{-2}$); ω - prostorový úhel svítící části každého svítidla vzhledem k oku pozorovatele (sr); p - činitel polohy podle Gutha pro každé svítidlo podle jeho odchýlení od směru pohledu.

Všechny uvažované předpoklady při stanovení UGR musí být uvedeny ve výkresové dokumentaci. Hodnota UGR osvětlovací soustavy nesmí přesáhnout hodnoty uvedené v normě ČSN EN 12464-1.

Omezení oslnění cloněním - jasné zdroje světla s vysokým jasnem mohou oslňovat a zhoršovat viditelnost předmětů. Tomu se musí zabránit například vhodným cloněním světelných zdrojů a světlíků nebo vhodným odstíněním jasného denního světla od oken.

Minimální úhly clonění, viz kapitola 4 obr. 4.12, v zorném poli uvedené v tab. 6.4, musí být pro uvedené jasy zdrojů zajištěny.

Jas světelného zdroje ($\text{kcd}\cdot\text{m}^{-2}$)	Minimální úhel clonění $\alpha(^{\circ})$
20 až <50	15
50 až <500	20
≥ 500	30

Tab. 6.4: Minimální úhly clonění svítidel pro specifikované jasy světelných zdrojů

Hodnoty uvedené v tab. 6.4 se nepoužívají v případě nepřímých svítidel nebo pro svítidla s dolní složkou toku montovaná pod úrovní očí.

Závojevé oslnění odrazem a oslnění odrazem - odrazy světla v místě zrakového úkolu mohou měnit viditelnost úkolu, zpravidla ji zhoršovat. Závojevé oslnění a oslnění odrazem mohou být zamezeny nebo zmenšeny uspořádáním pracovních míst vzhledem ke svítidlům, oknům a světlíkům, povrchovou úpravou (matové povrchy), omezením jasu svítidel, oken a světlíků a světlým stropem a světlými stěnami.

Směrovost světla - směr osvětlení se má volit tak, aby svítidlo nebylo v zorném poli a tudíž neoslňovalo. Světlo má dopadat do místa úkolu převážně zleva a shora, pokud možno zezadu přes levé rameno. Směřované osvětlení může být použito pro zvýraznění předmětů, vyjevení textury a vzhledu osob v prostoru. Směřované osvětlení zrakového úkolu může také ovlivnit jeho viditelnost.

Modelace je vyváženost mezi difúzním a směrovaným světlem. Je to platné kritérium jakosti osvětlení prakticky ve všech typech vnitřních prostorů. Celkový dojem vnitřního prostoru je možné zlepšit, jsou-li jeho stavební tvary, osoby a předměty v něm osvětleny tak, že jejich tvar a textura se jeví jasně a příjemně. To nastává tehdy, když světlo má převážně jeden směr; stíny, jež jsou základem dobré modelace, se tvoří bez problémů. Osvětlení nesmí být příliš směrované nebo vytvářet ostré stíny ani nesmí být příliš difúzní (modelace se nesmí zcela ztratit), což by vedlo k velmi monotónnímu světelnému prostředí.

Hledisko barev - jakost barvy světelných zdrojů smluvně bílého světla se charakterizuje dvěma příznaky:

- (zjevný, viděný, subjektivní) barevný vzhled (tón) světla samotného světelného zdroje,

- schopnost podání barev, která ovlivňuje barevný vzhled předmětů osvětlovaných světelným zdrojem.

Tyto dva příznaky musí být uvažovány odděleně.

Barevný vzhled (tón) světelného zdroje se vztahuje k zdánlivé barvě (chromatičnosti) vyzařovaného světla. Ta se kvantifikuje náhradní teplotou chromatičnosti (T_{cp}). Barevný tón může být popsán také podle tab. 4.1.

Volba barevného tónu je záležitostí psychologie, estetiky a přirozených požadavků. Volba bude záviset na úrovni osvětlení, barevné úpravě místnosti a nábytku, klimatickém pásmu a druhu prostoru (uživatelské oblasti). V horkých klimatických podmínkách se preferuje chladnější barevný tón, zatímco v chladnějším podnebí se upřednostňuje teplejší barevný tón světla.

Podání barev - pro zrakový výkon, pocit celkové a duševní pohody je důležité, aby barvy předmětů a lidské pokožky v prostředí byly podány přirozeně, věrně a tak, aby lidé vypadali přitažlivě a zdravě.

Bezpečnostní barvy musejí být vždy rozlišitelné jako takové.

Světelné zdroje s indexem podání barev menším než 80 nesmějí být použity ve vnitřních prostorech, v nichž osoby pracují nebo pobývají dlouhodobě. Výjimky lze připustit v některých místech anebo činnostech (např. při osvětlení vysokých hal). Musí se však udělat vhodná opatření k zajištění lepšího podání barev v určených pracovních místech se stálou přítomností osob, a kde musí být rozlišovány bezpečnostní barvy.

Minimální hodnoty všeobecného indexu podání barev pro jednotlivé typy prostorů (ploch), zrakových úkolů nebo činností jsou uvedeny v normě ČSN EN 12464-1.

Míhání a stroboskopický jev - míhání působí rušivě a může vyvolat fyziologické projevy, jako například bolesti hlavy. Stroboskopický jev může vést k nebezpečným situacím při změně vnímaného pohybu strojů točivých nebo strojů s vratným pohybem.

Osvětlovací soustavy musí být navrženy tak, aby nevznikalo míhání ani stroboskopický jev. Toho lze zpravidla dosáhnout použitím napájení světelných zdrojů stejnosměrným proudem nebo vyšším kmitočtem (kolem 30 kHz).

Udržovací činitel - projekt osvětlení musí být vypracován s uvažováním celkového udržovacího činitele vypočteného pro zvolené osvětlovací zařízení, prostředí a plán údržby. Doporučená osvětlenost pro každý zrakový úkol se uvádí jako udržovaná osvětlenost. Udržovací činitel závisí na provozních charakteristikách světelných zdrojů a předřadníků, svítidel, prostředí a na plánu údržby.

Projektant musí uvést udržovací činitel a přehled předpokladů přijatých při odvození jeho hodnoty, specifikovat osvětlovací zařízení vhodné pro užití v daném prostředí, připravit kompletní plán údržby, včetně intervalů výměny světelných zdrojů, čištění svítidel a místností a způsobů jeho provádění.

Z energetického hlediska osvětlovací soustava musí vyhovovat požadavkům na osvětlení daného prostoru bez plýtvání energií. Přesto je důležité nedělat kompromisy z hlediska vizuálního a jednoduše nezmenšovat spotřebu energie. To

vyžaduje vhodnou volbu osvětlovací soustavy, zařízení, řízení a využití dostupného denního světla.

Stálost osvětlení - rychlé časové změny osvětlenosti, způsobené kolísáním napětí popřípadě mechanickými příčinami, rušivě ovlivňují zrakový vjem a navíc mohou zapříčinit vznik stroboskopického jevu.

Rovnoměrnost osvětlení - je ovlivněna roztečí a rovnoměrným rozmístěním svítidel. Nedodržením požadované rovnoměrnosti negativně ovlivníme zrakový výkon tím, že oko musí stále adaptovat. Rovnoměrnost se určuje poměrem na srovnávací rovině v místě zrakového úkolu nejmenší a místně průměrnou osvětleností. Požadované rovnoměrnosti pro zrakové třídy jsou uvedeny v normách.

6.1. Osvětlování vnitřních pracovních prostor

Práce a pracoviště v kancelářích v současné době prochází velkými proměnami. Nové formy organizace kanceláří, především vytvoření skupinově flexibilního uspořádání, narůstající počet pracovišť s výpočetní technikou obsahující obrazovku a vzrůstající požadavky na strukturované uspořádání pracovišť vyžadují také změnu konvenčního osvětlení.

Proto již nestačí projektovat osvětlení na základě stanovené intenzity osvětlení a mezních křivek oslnění. Je nutné vzít v úvahu a posoudit rozložení jasu v místnosti, rozložení kontrastu, rozložení vertikální intenzity osvětlení v místnosti a uspořádání svítidel osvětlovací soustavy s přihlédnutím k pracovním činnostem a k samotnému pracovišti.

Při stanovení výchozích podmínek osvětlení pro všechny druhy činnosti (administrativní, výpočetní, konstrukční atd.) musíme mít na zřeteli, že zrak člověka je tím nejdůležitějším „pracovním nástrojem“ a osvětlení významným faktorem prostředí.

Pracoviště obecně

Ještě před nedávnem se všechna pracoviště s výpočetní technikou posuzovala shodně bez toho, jakým způsobem jsou využívána, jaké další činnosti jsou zde vykonávány. V současnosti lze říci, že tyto prostory můžeme poměrně snadno členit na prostory s trvalou prací s výpočetní technikou a prostory s občasnou prací s výpočetní technikou.

Pracoviště s trvalou prací s výpočetní technikou - vychází se z toho, že každé takové dílčí pracoviště je součástí daného uspořádání prostoru. Pro takové pracoviště existuje přesný popis světelnotechnických vlastností použitých svítidel.

Přitom u řadové skladby pracovišť je již situace komplikovanější. Osvětlovací soustavy takových kanceláří by měly mít pravidelné rozmístění svítidel na stropě, popřípadě ve světelných pásích bílých velkoplošných svítidel s mřížkami orientovanými paralelně k oknu.

Podle úrovně odrazných ploch vymežujících prostor kanceláře mohly v tomto případě vzniknout jasy, které často převyšovaly poměr 1 : 10 stanovený pro zrakovou práci v kancelářích. Optimální hodnoty odraznosti dílčích ploch v kancelářském prostoru jsou uvedeny v tab. 6.5.

Při podrobné analýze pracoviště s trvalou prací s výpočetní technikou lze rozdělit běžné pohledy pracovníka do směrů na klávesnici, obrazovku, předlohu, plochu pracovního stolu a vertikální dělicí plochu pracoviště.

Plocha v místnosti	Odraznost $\rho_o(-)$	Osvětlení E (%)	Jas L (%)
Místo úkolu	0,8	100	100
Okolí úkolu	0,35	100	40
Stěny	0,5	50 až 80	30
Strop	0,7	30 až 90	30
Nábytek	0,3	---	20
Podlaha	0,2	50 až 100	25

Tab. 6.5: Optimální hodnoty odraznosti, osvětlení a jasu v kanceláři pro dílčí plochy

Pracoviště s občasnou prací s výpočetní technikou můžeme rozdělit na čtení, psaní, studium, práce s výpočetní technikou, tvůrčí práce, plná koncentrace a komunikační činnost se zákazníky či spolupracovníky.

Nejvýhodnější by bylo denní osvětlení přicházející z levé strany. Ale tento druh přirozeného světla nesplňuje všechny parametry, není k dispozici vždy, musí být v některých případech potlačeno či zcela eliminováno. K tomuto účelu používáme žaluzie.

Opětovné splnění všech určených požadavků musí platit nejen pro jednu činnost. Činností je více, a proto i osvětlovací soustava musí být odlišná od předcházejícího typu pracoviště, kde je trvalá činnost s výpočetní technikou.

Nejrozsáhlejší část normy ČSN EN 12464-1 Světlo a osvětlení - Osvětlení pracovních prostorů - Část 1: Vnitřní pracovní prostory obsahuje vysvětlení skladby rozsáhlých tabulek, přehledný obsah tabulek podle oborů a následně samotný tabulkový přehled požadavků pro jednotlivé prostory a definované lidské činnosti.

Tyto oblasti jsou rozděleny následovně:

- komunikační zóny a společné prostory v budovách,
- průmyslové činnosti a prostory,
- administrativní prostory (kanceláře),
- obchodní prostory,
- veřejné prostory,
- školská a výchovná zařízení,
- zdravotnická zařízení,
- dopravní prostory.

U každé položky je uvedena udržovaná osvětlenost, maximálně přípustná hodnota indexu oslnění v systému UGR, minimální hodnota všeobecného indexu podání barev a u některých položek důležité poznámky k aplikaci těchto paramet-

rů. Nejsou-li v seznamu některé místnosti (prostory), úkoly nebo aktivity uvedeny, musí se převzít hodnoty pro podobné srovnatelné situace.

Ukázka požadavků na osvětlení vzdělávacích zařízení (citováno z normy ČSN EN 12464-1). V tabulce jsou vybrány pouze některé části normy.

Ref. číslo	Druh prostoru, úkolu nebo činnosti	Ěm (lx)	UGR _L –	U _o –	R _a –	Specifické požadavky
5.36.1	učebny, konzultační místnosti	300	19	0,6	80	osvětlení má být regulovatelné
5.36.3	auditoria a posluchárny	500	19	0,6	80	osvětlení má být regulovatelné, aby splňovalo požadavky na prostory pro audiovizuální prezentace
5.36.5	demonstrační stůl	500	19	0,7	80	v přednáškových sálech 750 lx
5.36.7	místnosti pro výtvarnou výchovu v uměleckých školách	750	19	0,7	90	5 000 K < T _{CP} 6 500 K.
5.36.9	místnosti pro praktickou výuku a laboratoře	500	19	0,6	80	
5.36.17	komunikační prostory a chodby	100	25	0,4	80	

Tab. 6.6: Vzdělávací (školská a výchovná) zařízení

6.2. Osvětlení obytných prostor

Denní světlo v bytových prostorech

Denní světlo plní v obytném prostoru všechny funkce uvedené v části základní úkol v urbanizmu a architektury při řešení denního osvětlení. Pro provádění zrakově náročných činností musí být v každé místnosti dostatečně velké pásmo s denním osvětlením splňující požadavky na pracovní prostředí. V obytné místnosti lze předpokládat činnosti jako čtení, psaní, kreslení, rýsování, práci se sledováním údajů na obrazovce, šití, zrakově náročné zájmové činnosti (filatelie, numizmatika, botanické průzkumy s lupou, mikroskopem). Při zabezpečení dostatečného osvětlení ve středu místnosti podle platných předpisů průměrná hodnota činitele denní osvětlenosti 0,9 % ve středu hloubky místnosti předpokládá, že v blízkosti okna bude dost světla i pro náročnější zrakové činnosti. Takové osvětlení je též dostatečné z hlediska fyziologického (vlivu na endokrinní systém) a pokud není dolní hrana průhledného zasklení výše než 1 200 mm nad podlahou, umožňuje dobrý výhled do venkovního prostředí i sedícím osobám. Horní hrana průhledné části zasklení má být výše než 1 800 mm, čímž je zaručen výhled i pro stojící osobu.

Zároveň má sedící osoba ve středu místnosti vidět část oblohy oknem. Ve většině případů jsou tyto požadavky splněny při dodržení závazných požadavků státních technických norem nebo hygienických předpisů.

Ve stísněných poměrech městských center nebo při rekonstrukci stávajících budov není vždy možné dodržet hodnoty činitele denní osvětlenosti. Je třeba však využít možnosti takových stavebních úprav, které částečně eliminují nedostatečné množství světla tím, že se v maximální možné míře použijí opatření na dobré jasové poměry:

- co největší šířka okna, minimalizace neprůsvitných částí okenní stěny (okno od stěny po stěnu), minimalizace okenních pilířů,
- minimalizace nebo úplné vyloučení nadokenního záklenku,
- vyloučení lodžie nebo stínící balkónové desky před místností s velkou délkou,
- použití žaluzií s možností redistribuce světla do zadní části místnosti,
- přisvětlení zadní části místnosti oknem v boční stěně nebo světlíkem,
- použití co nejsvětlejších povrchových úprav stěn, stropu, podlahy a zařízení místnosti,
- světlá povrchová úprava zastíňující fasády.

Umělé osvětlení v bytových prostorech

Vstupní prostory - je-li z nich přímý vchod do volného exteriéru, je to místo s rozporuplnými požadavky na osvětlení. To proto, že se oko obtížně srovnává s velkými rozdíly mezi jasy na volném prostranství a v bytě. V nočních hodinách by měl být vstupní prostor nasvětlen decentněji, aby se zrak snadněji adaptoval na tmu při odchodu a na světlo při vstupu do domu. Ve dne je zase žádoucí, aby byl osvětlen na vysokou hladinu. Důvody jsou stejné jako v noci, jen v opačném smyslu. Pomine-li se vysoká intenzita osvětlení, vstupní prostor by měl mít celkové osvětlení. V každé předsíni je obvykle zrcadlo, u kterého je osvětlení, které směřuje na osobu stojící před zrcadlem, aby se v něm mohla zhlédnout. V předsíni zajišťují celkové osvětlení stropní svítidla, u zrcadla další svítidlo umožní zkontrolovat vzhled osoby při odchodu.

Schodiště a chodby - komunikace v bytě se osvětlují podobně jako vstup. Je třeba upozornit na starý nešvar - osvětlovat schodiště jedním svítidlem v patře, popř. druhým na podestě. Pro bezpečnou chůzi je žádoucí rovnoměrně osvětlit celé schodiště, a to je právě zmíněnými způsoby možné jen výjimečně. Je vhodné umístit ještě jedno nebo i několik svítidel na stěny ramen nebo řadu menších do podschodnice.



Obr. 6.3: Osvětlení chodby

Obývací pokoj - osvětlení je třeba přizpůsobit rozdílným požadavkům při různých činnostech. Celkové osvětlení doplněné řadou místních svítidel, nástěnných, stolních nebo stojanových. V obývacím pokoji lze spustit svítidlo nad konferenční stůl co nejnižší, avšak jen tak nízko, aby se o ně neudeřil vstávající z křesla a také, aby nezakrývalo obličej proti sobě sedících osob. Nesmí se zapomenout ani na osvětlení ke sledování televize. Je velmi častou chybou sledování obrazovky v naprosté tmě. Vysoký kontrast mezi obrazovkou a tmavou stěnou je příčinou únavy zraku, ale i jiných zdravotních potíží. Vhodné je proto osvětlit stěnu svítidlem, které je umístěno za obrazovkou. V obývacím pokoji je dobré, když lze ovládat intenzitu osvětlení stmívačem.



Obr. 6.4: Osvětlení obývacího pokoje

Jídlna - je dobré, když světlo dopadá na prostřenou tabuli. Vyšší hladina osvětlení není na škodu, vhodné je použití svítidla spuštěného poměrně nízko nad stolem. Opět je třeba dodržet zásady jako v případě svítidla spuštěného nad konferenční stůl v obýváku. Ani zde se nesmí zapomenout na určitou míru celkového osvětlení.

Kuchyně - pracovní deska je místem s vysokými požadavky na zrakovou práci. Je dobré, když je osvětlena samostatným svítidlem umístěným pod horní skříňky linky - vhodná jsou ta pro lineární zářivky. Svítidla s halogenovými žárovkami jsou spíše módní záležitostí (nedostatečná osvětlenost a větší počet bodových

zdrojů světla jsou příčinou několikanásobných stínů - to zhoršuje prostorové vnímání a zvyšuje riziko úrazu). Rovněž je vhodné, aby bylo vidět do hrnců na sporáku. Osvětlení, které bývá součástí odsavače par, je jen zřídka vyhovující.

Pracovna, dílna - hladina osvětlení se volí v souladu s požadavky na zrakovou práci a je třeba respektovat návyky uživatele. Pokud dosahují osvětlenosti v pracovních vysokých hodnot (nebo naopak nízkých), je dobré dbát na to, aby sousední prostor nebyl osvětlen výrazně jinak. Pracovny pro tvůrčí činnost, ať jsou to grafické práce, modelářina, amatérská elektrotechnika nebo kovářství, všechny takové pracovny nebo dílny je žádoucí osvětlit stejně, jako se osvětlují profesionální pracoviště odpovídajícího charakteru. Na obr. 6.5 je celkové osvětlení pracovny, které zajišťují zářivková svítidla na stropě. Pro dostatečné osvětlení na pracovním stole je vhodné celkové osvětlení doplnit stojanovým svítidlem, které zajistí množství i správný směr světla. Pro oživení prostoru lze využít spuštěné svítidlo nad květinami nebo uměleckým dílem.



Obr. 6.5: Osvětlení pracovny

Dětský pokoj - celkové osvětlení je nezbytné, protože nikdy není předem jasné, které místo si dítě zvolí za nejvhodnější pro své hry. Je nutné osvětlit pracovní stůl. Ten nejlépe samostatným svítidlem, stejně jako osvětlení u lůžka. Osvětlení dětského pokoje má však jednu specifiku navíc, kterou se liší od ostatních prostorů v bytě. Dítě se na svět dívá ze své perspektivy, kdy se svítidlo, které je dostatečně cloněno pro dospělého, stává zdrojem oslnění. Je proto lépe se vyvarovat svítidel otevřených do dolního prostoru; vhodnější jsou svítidla uzavřená.

Ložnice - osvětlení má umožnit základní orientaci. Bezesporu je vhodné, když je lze přizpůsobit okamžité náladě, tedy je-li možné stmívání. Vypínač celkového osvětlení v hlavách lůžka není žádný přepych, ale věc čistě praktická. Samozřejmě je nezávislé osvětlení u lůžka tak, aby co nejméně rušilo. Funguje-li ložnice i jako šatna, je vhodné celkové osvětlení o něco intenzivnější. Toho se dosáhne osvětlením šatních skříní. Je možné použít směrovatelná svítidla. Jestliže se použije lištový systém, půjde o řešení téměř dokonalé. Svítidla by měla být umístěna s určitým odstupem od skříně a mírně z boku, aby nebylo jejich světlo zcloněno osobou. Svítidlem se míní například halogenová žárovka na malé napětí nebo kompaktní zářivka.

Koupelna, WC - stejně jako v jiných prostorách bytu, i v koupelně je třeba zajistit celkové osvětlení. Stropní svítidlo obyčejně vyhoví. Je však třeba respektovat bezpečnostní předpisy a normy, které vymezují použitelná svítidla (s jakým krytím před nebezpečným dotykem) a místa, která jsou pro jejich umístění přípustná. Opatrnost je nanejvýš na místě při řešení osvětlení zrcadla. Vhodné je umístit lineární zdroje podél všech stran zrcadla nebo alespoň okolo bočních. U spodní hrany má smysl pro pány, aby dobře viděli pod bradu při holení. Co se týče osvětlení záchodu, je řešení poměrně jednoduché. Obvykle postačuje svítidlo v ose mísy nad dveřmi nebo na stropě. Jen je třeba je umístit tak, aby si čtenář nestínil.

6.3. Nouzové osvětlení

Elektrická osvětlovací zařízení se nejčastěji považují za spotřebiče třetího stupně důležitosti, který nevyžaduje zajištění dodávky elektrické energie zásakovým náhradním zdrojem. To znamená, že obvykle vyhoví jediný napájecí zdroj a jediný přívod. V elektrickém silovém rozvodu však existují i náročnější podmínky pro provoz osvětlovacích soustav, dané například požadavky technologického procesu při výrobě nebo požadavky bezpečnosti osob shromážděných v osvětlovaném prostoru apod. V takových podmínkách se stupeň důležitosti dodávky elektrické energie stanoví podle účelu a funkce prostoru či podle nejdelší povolené doby přerušování osvětlení, a z toho vyplývají i požadavky na provedení rozvodného zařízení.

Je-li třeba zajistit náhradní nebo nouzové osvětlení, musí být napájeno jako zařízení prvního stupně důležitosti, to znamená z nezávislého zásakového zdroje. Volbu zásakového zdroje ovlivňují podmínky pro činnost osvětlovací soustavy, zejména rozsah náhradního osvětlení, tedy požadovaný příkon soustavy, požadovaná doba činnosti této náhradní soustavy, přípustná doba výpadku osvětlení a podmínky pro umístění náhradního zdroje a jeho údržbu.

Rozdělení nouzového osvětlení

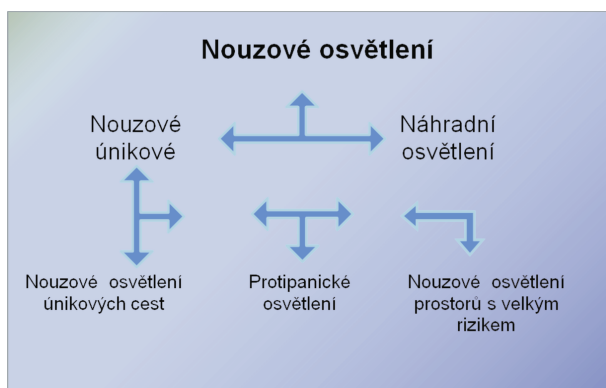
Nouzové osvětlení se zřizuje pro použití v případě selhání normálního osvětlení a je proto napájeno ze zdroje nezávislého na tom, který napájí normální osvětlení. Obecně lze nouzové osvětlení rozdělit do několika kategorií (viz obr. 6.7).

Nouzové únikové osvětlení - hlavním účelem nouzového osvětlení je umožnit bezpečný odchod z prostoru při výpadku normálního napájení. Nouzové únikové osvětlení musí být poskytnuto včas, automaticky a po potřebnou dobu pro daný typ prostoru. Důležité je si uvědomit, že nouzové únikové osvětlení musí být aktivováno nejen při úplném výpadku napájení normálního osvětlení, ale i v případě, že se jedná o omezenou poruchu, jako je např. porucha v koncovém obvodu. Zároveň pak platí, že nouzové únikové osvětlení není navrženo k tomu, aby umožňovalo pokračování normální činnosti v provozních nebo obytných prostorech v případě výpadku normálního nebo náhradního osvětlení. Obecně by nouzové únikové osvětlení mělo splňovat tyto podmínky:

- osvětlení označení únikové cesty,
- zajištění osvětlení na těchto cestách a po celé jejich délce tak, aby byl umožněn bezpečný pohyb směrem k východům a těmito východy na místo bezpečí,

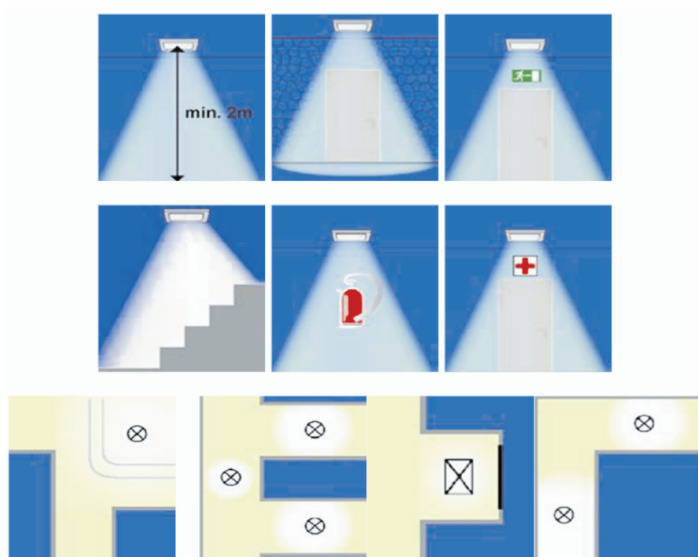
- zajištění toho, aby požární hlásiče a požární zařízení podél únikových cest mohla být snadno lokalizována a použita, pro umožnění provádění činnosti související s bezpečnostními opatřeními.

Pocity úzkosti a zmatku mohou být zmírněny strategicky umístěnými značkami ukazujícími cestu ven z prostoru. Je velmi důležité, aby východy byly jasně označeny značkami a tyto byly viditelné po celou dobu, kdy jsou v prostoru uživatelé.



Obr. 6.6: Rozdělení nouzového osvětlení

Centrální napájecí systémy napájené z baterií musí být navrženy a provedeny v souladu s ČSN EN 50171 a přitom musí být splněny bezpečnostní požadavky na baterie uvedené v ČSN EN 50272-2. Střídavá zdrojová soustrojí poháněná pístovými spalovacími motory: nouzové napájení zabezpečovacích zařízení musí být provedeno v souladu s ISO 8528-12.



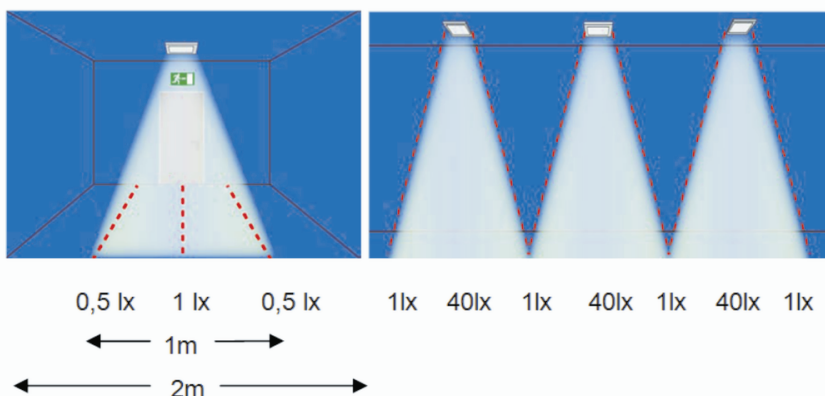
Obr. 6.7: Znázornění situací, v nichž je nutno použít nouzové osvětlení

Svítilidlo nouzového osvětlení splňující požadavky ČSN EN 60598-2-22 musí být umístěno na následujících místech:

- každé dveře určené pro nouzový východ,
- v blízkosti schodiště tak, aby každá řada schodů byla osvětlena přímým světlem,
- v blízkosti každé změny úrovně,
- nařízené únikové východy a bezpečnostní značky,
- při každé změně směru,
- při každém křížení chodeb,
- vně a v blízkosti každého konečného východu,
- v blízkosti každého místa první pomoci,
- v blízkosti každého hasícího prostředku a požárního hlásiče.

Nouzové osvětlení únikových cest - účelem nouzového osvětlení únikových cest je umožnit přítomným bezpečný odchod z prostoru poskytnutím vhodných podmínek pro vidění a určení směru na únikových cestách a na zvláštních místech a zajistit snadné dosažení a použití protipožárních a bezpečnostních zařízení.

- Pro únikové cesty do šířky 2 m nesmí být horizontální osvětlenost na podlaže podél osy únikové cesty menší než 1 lx a středový pás, široký alespoň polovinu šíře cesty, musí být osvětlen minimálně na 50 % této hodnoty.
- Poměr maximální a minimální osvětlenosti podél osy únikové cesty nesmí být větší než 40 : 1.
- Omezující oslnění musí být zmenšeno omezením svítivosti svítidel v zorném poli (viz ČSN EN1838).
- Pro rozlišení bezpečnostních barev musí být minimální hodnota indexu podání barev Ra světelných zdrojů nouzových svítidel 40.
- Minimální doba svícení nouzového únikového osvětlení přípustná pro únikové účely musí být 1 hodina.
- Nouzové osvětlení únikových cest musí dosáhnout 50 % požadované osvětlenosti do 5 s a plné požadované osvětlenosti do 60 s.



Obr. 6.8: Schématické znázornění požadavků na nouzové únikové osvětlení

Antistresové protipanické osvětlení – účelem tohoto osvětlení (veřejných prostorů) je zmenšit pravděpodobnost vzniku davové paniky a umožnit přítomným bezpečný pohyb směrem k únikovým cestám poskytnutím vhodných podmínek pro vidění a určení směru. Směr světla na únikových cestách a ve veřejných prostorech má být dolů k pracovní rovině. Osvětleny však mají být také všechny překážky do výšky 2 m nad touto plochou. Je používáno v prostorech, ve kterých nejsou určeny únikové cesty, tj. v halách nebo prostorech s podlahovou plochou větší než 60 m², nebo v menších prostorech, pokud v nich je přídavné riziko, jako je používání prostoru velkým množstvím lidí.

Vodorovná osvětlenost nesmí být menší než 0,5 lx na úrovni podlahy uvnitř prázdného prostoru s výjimkou obvodového pruhu o šíři 0,5 m.

Poměr maximální a minimální osvětlenosti protipanického osvětlení v prostoru nesmí být větší než 40 : 1.

- Omezující oslnění musí být zmenšeno omezením svítivosti svítidel v zorném poli (viz ČSN EN1838).
- Pro rozlišení bezpečnostních barev musí být minimální hodnota indexu podání barev Ra světelných zdrojů nouzových svítidel 40.
- Minimální dovolená doba pro únik je 1 hodina.
- Protipanické osvětlení musí dosáhnout 50 % požadované osvětlenosti do 5 s a plné požadované osvětlenosti do 60 s.

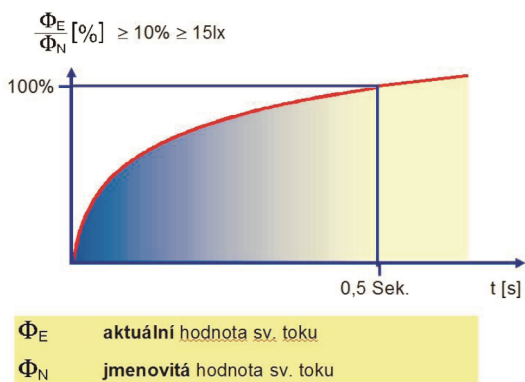
Nouzové osvětlení prostorů s velkým rizikem - účelem nouzového osvětlení prostorů s velkým rizikem je přispět k bezpečnosti lidí při potencionálně nebezpečných procesech nebo situacích a umožnit jim řádné ukončení těchto činností uskutečňovaných pro bezpečnost ostatních uživatelů těchto prostorů.

- V prostorách s velkým rizikem nesmí udržovaná osvětlenost na srovnávací rovině být menší než 10 % požadované udržované osvětlenosti pro danou činnost, avšak nesmí být menší než 15 lx.
- Osvětlení nesmí způsobovat škodlivý stroboskopický jev.

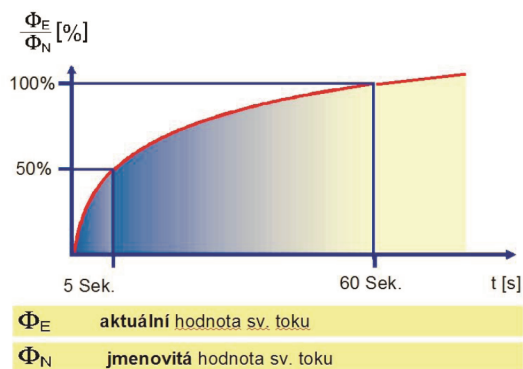
- Rovnoměrnost nouzového osvětlení s velkým rizikem nesmí být menší než 0,1.
- Omezující oslnění musí být zmenšeno omezením svítivosti svítidel v zorném poli (viz ČSN EN1838).
- Pro rozlišení bezpečnostních barev musí být minimální hodnota indexu podání barev Ra světelných zdrojů nouzových svítidel 40.
- Minimální doba svícení musí být rovna době trvání nebezpečí pro osoby.
- Nouzové osvětlení prostorů s velkým rizikem musí poskytnout požadovanou osvětlenost trvale, nebo do 0,5 s v závislosti na jeho použití.

Náhradní osvětlení - účelem náhradního osvětlení je umožnit pokračování v běžné činnosti bez podstatných změn (IEC 60050). Použije-li se náhradní osvětlení pro nouzové únikové osvětlení, musí splňovat rozhodující požadavky normy ČSN EN 1838. Je-li hladina náhradního osvětlení nižší než u minimálního normálního osvětlení, může být použito pouze pro přerušeni nebo dokončení činnosti.

Osvětlení samostatné části únikové cesty systémem nouzového únikového osvětlení musí být provedeno pomocí dvou nebo více svítidel, aby se celý systém určování směru k východu nestal neúčinným při poruše jednoho svítidla.



Obr. 6.9: Dostupnost požadované hladiny osvětlenosti pro prostory s velkým rizikem



Obr. 6.10: Dostupnost požadované hladiny osvětlenosti pro únikové cesty a protipanické prostory

6.4. Literatura ke kapitole

- [1] ČSN 73 0580-2:1992 – Denní osvětlení budov – denní osvětlení obytných budov
- [2] ČSN 36 0020-1:1996 – Sdružené osvětlení – základní požadavky
- [3] ČSN EN 12464-1 Světlo a osvětlení - Osvětlení pracovních prostorů
- [4] ČSN EN 1838 Světlo a osvětlení - Nouzové osvětlení
- [5] Matoušek J.: DOS-T 08.06.00.003 01/1999 - Sdružené osvětlení budov
- [6] Penn I.: Nouzové Osvětlení, 2008
- [7] Maixner T.: Umělé osvětlení v bytech, časopis Světlo 01/2010

7. Veřejné osvětlení

7.1. Základní požadavky

7.1.1. Funkce, význam a cíle veřejného osvětlení

Pod pojmem veřejné osvětlení (dále VO) se rozumí osvětlení veřejných komunikací a prostranství (místních komunikací, silnic, dálnic, komunikací pro pěší a cyklistickou dopravu, včetně tunelů, podjezdů, podchodů, mostů, lávek, křižovatek, přechodů, náměstí, parků, pěších a obytných zón, zastávek městské hromadné dopravy, parkovišť atd.), osvětlení významných objektů (fasád budov, architektonických památek, výtvarných děl, přírodních útvarů apod.), osvětlení veřejných hodin, slavnostní osvětlení (používané při zvláštních příležitostech, často s provizorním napájením, např. vánoční výzdoba) apod., ve městech, obcích i mimo ně.

VO patří mezi tzv. neplacené služby veřejnosti, obvykle hrazené z obecních rozpočtů. Nemá komerční charakter.

VO je důležitou součástí životního prostředí a podstatně ovlivňuje veřejný pořádek a bezpečnost dopravy, osob, majetku i atraktivnost měst a obcí a významnou měrou přispívá ke spokojenosti obyvatel.



Obr. 7.1: Veřejné osvětlení v Ostravě

K rozvodům veřejného osvětlení mohou být za stanovených podmínek připojeny i jiné odběry (elektrické spotřebiče, které často mají s veřejným osvětlením společné pouze napájení), např. dopravní značky, světelná dopravní signalizace a prvky městského mobiliáře.

Základním cílem provozovatele VO je zajištění výše uvedených požadavků při dlouhodobém vynaložení co nejnižších nákladů na výstavbu, modernizaci, rekon-

strukci, správu, provoz a údržbu VO. K tomuto cíli je potřeba dospět optimalizací jednotlivých nákladových položek, k nimž patří např.:

- cena, životnost, výkonnost a stálost technických parametrů jednotlivých prvků systému veřejného osvětlení,
- cena elektrické energie,
- jednotková cena lidské práce,
- jednotková cena použití technického vybavení (zahrnující odpisy zařízení, cenu pohonných hmot apod.),
- doba provozu soustavy VO.

Při uvedených rozborech je nutno vzít v úvahu předpokládaný vývoj vstupních cen s dostatečným výhledem. [2]

7.1.2. Technické možnosti provozu VO

Účinnost svítidla

Účinnost svítidla je definována jako poměr světelného toku, který ze svítidla vystupuje, ke světelnému toku světelných zdrojů ve svítidle, viz vztah 4.2.

U svítidel se na účinnosti a dalších optických vlastnostech zásadně podílejí dva konstrukční prvky. Tím prvním je kvalita reflektoru, druhým provedení difuzoru (průsvitný prvek uzavírající optickou část svítidla).

Účinnost lze zlepšit kvalitnějšími materiály, případně zvětšením prostorového úhlu výstupního otvoru. Je zřejmé, že čím budou lepší odrazné vlastnosti reflektoru, tím více světla se od něho odrazí a čím vyšší bude propustnost difuzoru, tím více světla jím projde.

Sporné je zvětšování výstupního otvoru, resp. zvyšování poměru prostorových úhlů otvoru a reflektoru ve prospěch otvoru. To lze jednoduše provést tak, že se světelný zdroj přesune směrem k otvoru. Tím se však obvykle snižuje clonění svítidla, tedy hrozí vyšší oslnění (úhel clonění je úhel, pod kterým začne být vidět světelně aktivní část světelného zdroje). Kromě toho se pak poměrně menší plochou reflektoru hůře přeměruje světlo, takže v konečném důsledku je svítidlo méně využitelné (má nižší činitel využití – viz dále), než svítidlo s lépe usměrněným světlem. Při návrhu svítidla je třeba najít vhodný kompromis tak, aby svítidlo mělo co nejvyšší užitnou hodnotu a co nejméně oslňovalo.

Je-li správně zvolen charakter svítidla, pak je rozhodující účinnost svítidla. V zásadě lze předpokládat, že u svítidel pro osvětlování komunikací se nejlepších účinností (činitelů využití) dosáhne pro produkty následujících vlastností. [2]

Reflektor

- Radiálně fasetovaný opatřený povrchem s vysokou odrazností světla (plátovaný hliník nebo jiný materiál podobných optických vlastností).

Difuzor

- Refraktor – nevýhoda – není běžně ve výrobních programech.
- Vypouklý („klasický“) difuzor z PMMA (stálost) nebo PC (odolnost).
- Plochá skla z antireflexního skla – drahá, běžná tvrzená skla vykazují nižší účinnost a menší vyzařovací úhel než refraktory nebo klasické difuzory, jsou vhodná jen pro některé typy světelných zdrojů.



Obr. 7.2: a) Vypouklý difuzor vlevo (účinnost cca 80 %); b) ploché sklo vpravo (účinnost cca 76 %)[2]

Mechanické prvky

- Vysoké krytí IP pro celé svítidlo (viz kapitola 4.2.1 o krytí svítidel).
- Systémy umožňující dýchání, resp. výdech svítidel, tj. membrány jednosměrně (ven ze svítidla) umožňující výstup vodních par (viz obr. 7.5).
- Možnost měnit nastavení svítidla a refraktoru.

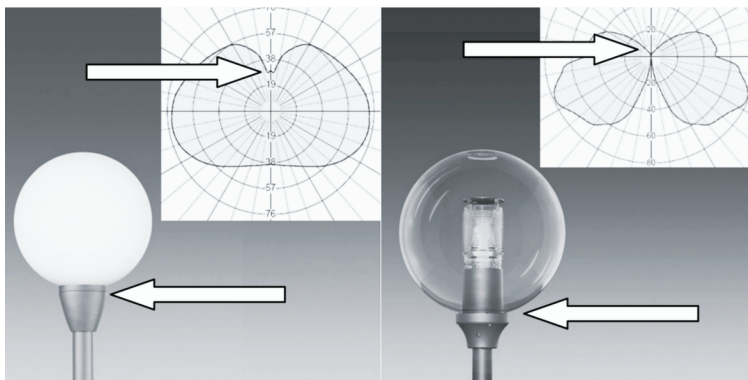
Všechny popsané parametry svítidla je ještě třeba zúročit kvalitním návrhem osvětlovací soustavy. Ani neúčinnější svítidlo s nevhodnější charakteristikou svítivosti nezaručí ekonomické a energetické využití. Podmínkou pro realizaci jakékoliv osvětlovací soustavy by měl být kvalifikovaný návrh světelným technikem.

Účinnost svítidla není rozhodující pro energetické úspory sama o sobě. Rozhodující je způsob distribuce světelného toku. Bude-li světlo ze světelného zdroje směřováno patřičným směrem, pak méně účinné svítidlo zajistí kvalitnější a ekonomičtější osvětlení. Názorný je příklad svítidla s kulovým difuzorem.

Na obr. 7.3a je takové svítidlo v provedení bez jakékoli významnější úpravy směřování světelného toku. Světlo se šíří do všech směrů. Celková účinnost tohoto svítidla je relativně vysoká a dosahuje hodnoty 79 %. Je však rozdělena tak, že do dolního poloprostoru je směřována přesně polovina světelného toku. Pro jednoduchost předpokládejme, že se veškerý světelný tok zpracuje užitečně (v realu to bude samozřejmě horší). Potom z 1000 lm bude využito 395 lm ($= 0,79/2 \times 1000$).

Na obr. 7.3b je „klasická koule“ opatřena refraktorem, který usměrní větší část světelného toku do dolního poloprostoru (přitom zůstává zachován vzhled svítidla – respektování architektonického nebo historického pohledu). I při čirém difuzoru

(v předešlém případě byl difuzor matný, takže mírně snížil účinnost) celková účinnost svítidla klesá na hodnotu 61 %. Přitom do dolního poloprostoru jsou směřovány cca 2/3 světla. Ač tedy v tomto případě klesla účinnost přibližně o 23 % ($0,61/0,79 \times 100$), tak do dolního poloprostoru dopadne, za stejných podmínek jako v předešlém případě, 406 lm ($0,61 \times 2/3 \times 1000$). Tedy svítidlo s nižší účinností zajišťuje vyšší osvětlenost (účinnost 77 % a osvětlenost 103 % prvého). [2]



Obr. 7.3: Vlevo) „Klasická koule“ – účinnost svítidla 79 %; Vpravo) „Klasická koule“ s refraktorem – účinnost svítidla 61 % [2]

Volba světelných zdrojů a jejich parametry

Jednou z nejdůležitějších oblastí ovlivňujících spotřebu elektrické energie osvětlovacích soustav jsou světelné zdroje. Mezi hlavní parametry, které se u světelných zdrojů sledují, patří měrný výkon, životnost, index podání barev, možnost stmívání a rozměry.

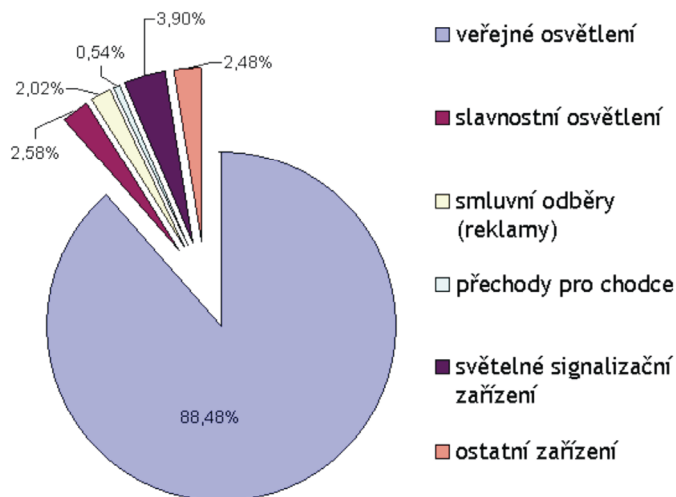
Úspory plynoucí z provozu a údržby soustavy VO

V současnosti již v celé České republice, zejména ve středních a větších městech, dochází k využívání racionalizačních opatření na základě podrobné pasportizace a generelu s výsledkem snížení nákladu na provoz a údržbu soustavy VO.

K těmto opatřením patří:

- používání kvalitních světelných zdrojů,
- výměna svítidel za nová s vyšší účinností a kvalitními předřadníky,
- zavádění skupinové výměny světelných zdrojů,
- dimenzování osvětlení podle aktuálního zatřídění komunikace, regulace napájecího napětí,
- omezení svícení během dne provozováním noční údržby,
- optimalizací a sledováním tras vozidel údržby,
- důsledná pasportizace a evidence všech údržbových zásahů soustavy VO v elektronické podobě.

Na obr. 7.4 je grafem vyjádřen procentuální podíl příkonů jednotlivých složek venkovního osvětlení a signalizace.



Obr. 7.4: Procentuální podíl instalovaných příkonů venkovního osvětlení a signalizace [2]

7.1.3. Údržba osvětlovacích soustav VO

Veřejné osvětlení je ze zákona o obcích (obecním zřízení) majetkem obce (města, statutárního města). Tento subjekt vykonává veškerá vlastnická práva a povinnosti k tomuto majetku. Ve prospěch a ke spokojenosti vlastních občanů a tranzitující dopravy vlastník zajišťuje provoz VO. Zajištění může být za tím účelem zřízenou vlastní organizací nebo jiným podnikatelským subjektem na základě výběru a uzavřeného smluvního vztahu.

Údržbu VO lze rozdělit do pěti činností a to:

- běžná údržba,
- preventivní údržba,
- odstraňování následků škod a vandalismu,
- zajištění centrálního dispečinku a pohotovostní poruchové služby,
- zajištění pravidelných elektrovevíd.

Běžná údržba

Do běžné údržby patří nezbytné zásahy do provozovaného zařízení VO vyvolané nějakým mimořádným poruchovým stavem, který způsobil narušení provozu nebo výpadek světelných míst apod. Nejedná se o plánovanou činnost, výkony běžné údržby jsou zcela nepředvídatelné a musí bezodkladně reagovat na přijatá hlášení nebo zjištění při vlastní kontrolní činnosti.

Zajištěním běžné údržby nedochází a ani nemůže být jejím cílem zlepšení technického stavu zařízení obecně, jedná se jen o odstraňování poruchových stavů nebo provedení takových opatření, která jsou nezbytná pro operativní zprovoznění nefunkční části zařízení VO.

Zahrnuje všechny nezbytné úkony k zajištění plynulého provozu zařízení VO, prováděné podle platných předpisů. S výkonem běžné údržby je také spojena kontrolní činnost pracovníků údržby, kteří při pohybu v terénu zjišťují a zaznamenávají veškeré informace o poškozeních a o zvláštních stavech na zařízení, případně nepovoleném využívání stožárů apod. Do kontrolní činnosti také patří pravidelné noční kontroly spravovaného území za účelem ověření funkčnosti celé soustavy, zjištění problematických míst, kde je nutné přijmout určitá dlouhodobá koncepční opatření, zjištění dílčích, ojedinělých výpadků, aniž by bylo nutné čekat na nahlášení ze strany obyvatel nebo jiných účastníků silničního provozu (MHD, policie, záchranný hasičský sbor). [2]

Preventivní údržba

Je neekonomičtější formou údržby zařízení a také rozhodující činností, která v případě řádného plánování a provádění pozitivně ovlivňuje životnost zařízení. Podceňování preventivní údržby vede k hromadění problému se zajištěním provozu VO (zejména v zimních měsících), prodražuje se běžná údržba, zhoršuje se účinnost osvětlovací soustavy a tím hospodárnost provozu. Šetření finančních prostředků na úkor preventivní údržby má ve svých důsledcích za následek značné ekonomické ztráty v podobě zvýšených nákladů běžné údržby, mnohdy to vede i k předčasné potřebě celkové rekonstrukce zařízení pro jeho havarijní stav.

Jedná se o práce na zařízení VO, které nemají za cíl řešit již nastalé poruchové stavy, ale předcházet jim. Vystavěné a do majetku zavedené VO má minimálně 30letou životnost. Není ale možné omezit údržbu jen na reagování na světelné výpadky zařízení VO zaviněné ať už vlastním světelným zdrojem, nebo jiným prvkem v rozvodu. Tuto formu operativní (nahodilé a předem neplánovatelné) údržby řeší zajištění běžné údržby. [2]

Odstraňování následků škod a vandalismu

Vedle přirozené poruchovosti odpovídající stáří a technickému stavu zařízení VO jsou další významnou příčinou poruch vyžadujících zásahy pracovníků údržby škody a vandalismus. Správci a provozovatelé odčerpávají podle statistických údajů bohužel až 7 % ročních prostředků vyčleněných a nesmírně potřebných na běžnou a preventivní údržbu VO.

Rozbité difuzory svítidel, odcizené plastové patice osvětlovacích stožárů nejen ohrozí správnou funkci zařízení, ale mohou též zapříčinit zranění nebo dokonce ztrátu života. Proto je důležitá pravidelná kontrola, zejména ve vytipovaných kritických oblastech města. Nejpodstatnější příčiny škod na zařízení VO jsou vandalismus, dopravní nehody a ostatní stavební činnost. [2]

Zajištění centrálního dispečinku a pohotovostní poruchové služby

S problémem popsáním v předešlém odstavci souvisí potřeba zřízení a provozu nepřetržitě pohotovosti a centrálního řízení provozu VO. Pohotovostní službu

zajišťuje smluvní partner vlastníka, jehož pracovníci v případě nutnosti vyjždějí na místo a provádí nezbytná opatření k obnovení provozu VO. Definitivní odstranění poruchového stavu, na základě jejich zjištění a provedených opatření, je následně předmětem výkonu běžné údržby VO. Smyslem poruchové služby není v nočních hodinách odstraňovat ojedinělé výpadky světelných míst. [2]

Zajištění pravidelných elektrovezí

Pravidelné revize elektrického zařízení jsou prováděny na základě smluvního vztahu mezi vlastníkem a firmou údržby, nebo si může vlastník VO zajistit provádění revizí jiným subjektem. Vždy je postupováno podle ustanovení normy ČSN 33 1500, kde je podle určených vnějších vlivů daných umístěním elektrického zařízení VO ve venkovním prostoru požadována minimálně 4letá lhůta opakovaných revizí, která může být prodloužena o vynechání jednoho cyklu v případě zpracovaného a realizovaného plánu preventivní údržby. [2]

7.1.4. Provozní změny osvětlovací soustavy

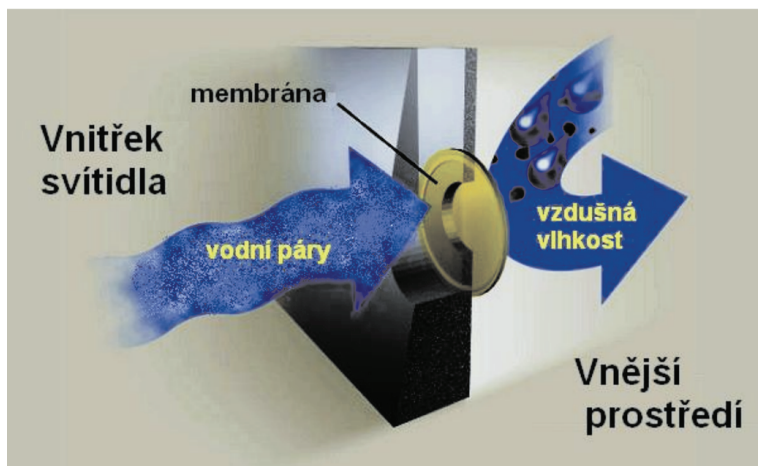
Soustava VO podléhá, jako všechny výrobky, určitým změnám v průběhu času. Změnám vratným, ale i nevratným. Ty vratné jsou například změny způsobené znečištěním svítidla, které lze vyčistit a navrátit mu tak téměř původní stav. Ovšem ani po vyčištění již nebude svítidlo zcela shodné jako v původním stavu. Materiál podlehne časovým změnám, například odrazné plochy reflektoru, které nemají odpovídající ochranu ($Al + Al_2O_3$) ztratí svůj lesk. [2]

Činitel stárnutí a znečištění svítidel

Popsané změny se vyjadřují prostřednictvím činitele údržby. To je číslo, které vyjadřuje, jak se časem znehodnotí určité vlastnosti. V případě svítidla se jedná o činitele stárnutí (nevratné změny) a znečištění svítidla (změny převážně vratné). Označuje se z_s (-) a jeho velikost závisí na čase. Nejprve klesá rychle, později se křivka poklesu zplošťuje. Je to celkem pochopitelné – řečeno laicky, ale výstižně, špína se již těžko ušpiní. Dále závisí na míře nečistot v prostředí, které svítidlo obklopuje. Větší znehodnocení lze očekávat v průmyslové oblasti než třeba v čistém horském prostředí.

Rozhodující pro míru znehodnocení svítidla vlivem okolí a času je jeho konstrukční provedení. Svítidla z nekvalitních materiálů odolávají nepřízní okolí samozřejmě méně než svítidla kvalitní. Druhým, avšak stejně podstatným, ukazatelem je míra krytí svítidla před vniknutím prachu a vody, resp. vodních par. Čím vyšší stupeň krytí IP, tím lépe svítidlo odolává vlivům nepřízně okolí.

Obě popsané vlastnosti jsou ve vzájemné součinnosti. Samotné krytí IP není zárukou malého znečištění svítidla, pokud svítidlo není řemeslně dobře vyrobené. Špičková svítidla jsou vybavena nejen dokonalým krytím, ale těsnění částí, které se při údržbě otevírají, jsou provedena z materiálů jednosměrně propouštějící vlhkost, jako na obr. 7.5. Pokud se svítidlo otevře za deště, mlhy nebo vlhčího ovzduší, pak po jeho uzavření zůstane vlhký vzduch uvnitř svítidla. Pokud je svítidlo dokonale těsné, pak se nemůže vlhkost ze svítidla odpařit a kondenzuje na vnitřních optických površích a tak snižuje účinnost svítidla. Jednostranně propustná membrána umožní, aby vlhkost ze svítidla vystoupila a naopak žádná nepronikla dovnitř.



Obr. 7.5: Funkce jednostranně propustné membrány

Podle zmíněného krytí svítidel IP, je v národním dodatku normy pro VO ČSN EN 13201-2 uvedena tab. 7.1, podle které se stanoví konečná hodnota udržovacího činitele znečištění (a stárnutí) svítidel. V tabulce jsou uvedeny hodnoty v závislosti na krytí IP, míře znečištění ovzduší a na době, která uplynula od posledního čištění, tedy na intervalu čištění. [2]

Stupeň krytí optické části svítidla	Znečištění ovzduší	Hodnoty činitele znečištění svítidel v závislosti na délce intervalu čištění (roky)				
		1,0	1,5	2,0	2,5	3,0
IP 2X	malé	0,82	0,80	0,79	0,78	0,78
	střední	0,62	0,58	0,56	0,54	0,53
	velké	0,53	0,48	0,45	0,43	0,42
IP 5X	malé	0,92	0,91	0,90	0,89	0,88
	střední	0,90	0,88	0,86	0,84	0,82
	velké	0,89	0,87	0,84	0,80	0,76
IP 6X	malé	0,93	0,92	0,91	0,90	0,90
	střední	0,92	0,91	0,89	0,88	0,87
	velké	0,91	0,90	0,88	0,85	0,83

Tab. 7.1: Hodnoty činitele znečištění svítidel [7]

Činitel stárnutí a znečištění světelných zdrojů

Tento činitel vyjadřuje, jak se sníží světelný tok vyzařovaný světelným zdrojem během času. Označuje se z_z (-).

K těmto změnám dochází na základě fyzikálně chemických změn v době provozu, ale i mimo tento čas. V národním dodatku jsou uvedeny orientační hodnoty činitele stárnutí světelných zdrojů (tab. 7.2), které jsou doporučeny k použití, pokud se nezískají podklady od výrobce světelných zdrojů, které mají samozřejmě větší váhu.

Typ světelného zdroje	Provozní doba (tisíce hodin)				
	4	6	8	10	12
Vysokotlaká sodíková výbojka	0,98	0,97	0,94	0,91	0,90
Halogenidová výbojka	0,82	0,78	0,76	0,74	0,73
Vysokotlaká rtuťová výbojka	0,87	0,83	0,80	0,78	0,76
Nízkotlaká sodíková výbojka	0,98	0,96	0,93	0,90	0,87
Lineární zářivka s třípásmovým luminoforem (pro teplotu okolí 25°C)	0,95	0,94	0,93	0,92	0,91
Lineární zářivka s halofosfátovým luminoforem (pro teplotu okolí 25°C)	0,82	0,78	0,74	0,72	0,71
Kompaktní zářivka	0,91	0,88	0,86	0,85	0,84

Tab. 7.2: Hodnoty činitele stárnutí světelných zdrojů [7]

7.1.5. Generel VO a pasportizace VO

Generel VO

Je jedním ze základních dokumentů pro plánování rozvoje zařízení VO města. Jedná se o výhledový plán zpracováváný zpravidla na 5 – 10 let dopředu. Generel VO je hlavním souborem pravidel, požadavků, zákonů a norem, jimiž se řídí provozování, plánování i výstavba veřejného osvětlení. [2]

Generel veřejného osvětlení města či obce vychází z údajů pasportu veřejného osvětlení, pasportu místních komunikací a silničních průtahů, územního plánu, materiálů památkové péče, generelu rozvoje dopravy, požadavků dopravní policie a příslušných odborů dopravy z hlediska bezpečnosti provozu. Generel by měl hlavně obsahovat:

- zatřídění komunikací do stupňů osvětlení podle norem,
- přehled nebezpečných úseků komunikací a křižovatek,
- přehled nebezpečných přechodů pro chodce a doporučení na zvýšená bezpečnostní opatření,
- rozbor noční nehodovosti a návrh světelných opatření k jejímu snížení,
- stanovení pravidel pro práci v blízkosti nebo na zařízení VO jako řešení chybějící právní ochrany zařízení VO,
- zásady vedení pasportizace a jejího dalšího vývoje,
- zásady projektování staveb VO.

Pasportizace VO

Neopomenutelnou součástí kvalitní správní a řídicí činnosti v oblasti veřejného osvětlení je pasport VO. Správci veřejného majetku jsou povinni vést evidenci veškerého spravovaného majetku. Úplná a hlavně průběžně aktualizovaná pasportizace je také nezbytnou podmínkou kvalitní údržby a trvalé modernizace osvětlovacích soustav.

Nový zákon 183/2006 Sb. ukládá vedení digitálních informací o spravovaných sítích a poskytnutí těchto k dalšímu využití při územně plánovacích dokumentacích. Tím je dána zákonná povinnost každého správce inženýrské sítě vytvořit a udržovat řádný pasport VO, který ve své mapové části podává komplexní informaci o VO. [2]

7.2. Osvětlování komunikací

7.2.1. Normy pro VO

Veřejné osvětlení se nachází na veřejných prostranstvích, v místech motoristické dopravy a pohybu chodců. Z tohoto důvodu je pro jeho navrhování, výstavbu a provozování nezbytná znalost širokého okruhu legislativních a technických norem.

Základní technické normy pro navrhování VO jsou obsaženy v souboru norem Osvětlení pozemních komunikací:

- ČSN CEN/TR 13 201-1 (Část 1: Výběr tříd osvětlení),
- ČSN EN 13 201-2 (Část 2: Požadavky),
- ČSN EN 13 201-3 (Část 3: Výpočet),
- ČSN EN 13 201-4 (Část 4: Metody měření).

Pro splnění úkolu zatřídění VO jsou nejdůležitější první dvě části souboru norem. Třetí část je určena více méně pro výrobce a dodavatele svítidel a čtvrtá stanovuje postupy a metody měření navržených a vypočtených parametrů již realizovaných soustav podle projektových dokumentací staveb. [2]

7.2.2. Požadavky

Postup odvození požadavků na VO je určen normou a je nutné postupovat v přesném sledu stanovených kroků, aby byl zaručen co nejobektivnější výsledek, tedy správné zatřídění z hlediska všech nastavených parametrů a vnějších vlivů. Ke správnému postupu výběru třídy osvětlení je potřeba dle ČSN EN 13201-1:

- definovat úseky veřejné pozemní komunikace v jedné nebo několika relevantních oblastech a vybrat příslušné modelové situace dle následujících parametrů:
 - typická rychlost hlavního uživatele (km/h),
 - hlavní uživatel (motorová doprava, velmi pomalá doprava, cyklisté, chodci),

- jiný povolený uživatel (velmi pomalá doprava, cyklisté, chodci),
- nepovolený uživatel (velmi pomalá doprava, cyklisté, chodci),
- vyhodnotit parametry a definovat relevantní oblasti z následujících parametrů:
 - prostorové uspořádání (směrové rozdělení komunikace, druhy křižovatek, hustota křižovatek, kolizní oblasti, atd.),
 - vliv dopravy (intenzita silničního, cyklistického a pěšího provozu, náročnost navigace, parkující vozidla, rozeznání obličejů, riziko kriminality),
 - vliv okolí (složitost zorného pole, jas okolí, převažující počasí),
- vybrat vhodnou třídu osvětlení pro zvolenou komunikaci. [6]

7.2.3. Třídy osvětlení komunikací dle ČSN EN 13201-2

Třídy osvětlení ME/MEW

Třídy osvětlení ME (uvedené v tab. 7.3) a MEW normy ČSN EN 13201-2 se vztahují na řidiče motorových vozidel pohybujících se po pozemních komunikacích střední až vysokou povolenou rychlostí.

Průměrný jas povrchu pozemní komunikace (\bar{L}), celková rovnoměrnost jasu (U_0), podélná rovnoměrnost jasu (U_1), prahový přírůstek (TI) a činitel osvětlení okolí (SR) se měří a počítají v souladu s EN 13201-3 a EN 13201-4.

Třída	Jas suchého povrchu pozemní komunikace			Omezující oslnění TI (%) a	Osvětlení okolí SR b
	\bar{L} [$cd \cdot m^{-2}$] (udržovaná hodnota)	U_0	U_1		
ME1	$\geq 2,0$	$\geq 0,4$	$\geq 0,7$	≤ 10	$\geq 0,5$
ME3c	$\geq 1,0$	$\geq 0,4$	$\geq 0,5$	≤ 15	$\geq 0,5$
ME4a	$\geq 0,75$	$\geq 0,4$	$\geq 0,6$	≤ 15	$\geq 0,5$
ME4b	$\geq 0,75$	$\geq 0,4$	$\geq 0,5$	≤ 15	$\geq 0,5$
ME5	$\geq 0,5$	$\geq 0,35$	$\geq 0,4$	≤ 15	$\geq 0,5$

^a Zvýšení prahového přírůstku o 5 % lze připustit v případech, kde jsou použity světelné zdroje s nízkým jasnem.
^b Toto kritérium lze uplatnit pouze v případě, kde k silniční komunikaci nepřiléhají jiné komunikace s vlastními požadavky.

Tab. 7.3: Řada tříd osvětlení ME – ukázka [7]

Třídy osvětlení CE

Třídy osvětlení uvedené v tab. 7.4 se vztahují na řidiče motorových vozidel a jiné uživatele pozemní komunikace v konfliktních oblastech, jako jsou např. obchodní třídy, složitější křižovatky, okružní křižovatky, úseky, kde se tvoří dopravní zácpy, atd. Třídy osvětlení CE je také možno použít v oblastech používaných chodci a cyklisty, jako jsou např. podchody a jezdce. Oblast komunikace, pro kterou platí tab. 7.4, může zahrnovat pouze jízdní pás v případě, použijeme-li pro ostatní komunikace, určené např. pro pěší nebo cyklisty, odlišné požadavky na osvětlení, nebo může zahrnovat celou komunikaci.

Třída	Vodorovná osvětlenost	
	\bar{E} (lx) (udržovaná hodnota)	U_0 (minimum)
CE3	≥ 15	$\geq 0,4$
CE4	≥ 10	$\geq 0,4$
CE5	$\geq 7,5$	$\geq 0,4$

Tab. 7.4: Třídy osvětlení CE - ukázka [7]

Třídy osvětlení CE se používají v případech, kdy dohody pro výpočet jasu povrchu komunikace neplatí, nebo je nepraktické je použít. To platí například pro případy, kdy je pozorovací vzdálenost menší než 60 m nebo kde je více důležitých poloh pozorovatele. V konfliktních oblastech komunikací platí třídy osvětlení CE i pro ostatní uživatele. Třídy osvětlení CE lze použít i pro chodce a cyklisty v případech, kdy požadavky tříd S a A nejsou postačující.

Třídy osvětlení S, A, ES a EV

Třídy osvětlení S uvedené v tab. 7.5 a alternativní třídy osvětlení A jsou určeny pro pěší a cyklisty pohybující se po komunikacích pro pěší nebo cyklisty, zpevněných krajnicích a ostatních částech pozemních komunikací, které leží odděleně nebo podél jízdního pásu, po komunikacích v osídlených útvarech, pěších zónách, parkovacích plochách, školních dvorech apod.

Třída	Vodorovná osvětlenost	
	\bar{E} (lx) a (udržovaná hodnota)	E_{\min} (lx) (udržovaná hodnota)
S3	$\geq 7,5$	$\geq 1,5$
S4	≥ 5	≥ 1
S5	≥ 3	$\geq 0,6$

Pro zajištění dostatečné rovnoměrnosti osvětlení nesmí vypočtená hodnota \bar{E} navržené osvětlovací soustavy překročit 1,5 násobek hodnoty \bar{E} uvedené v tabulce.

Tab. 7.5: Třídy osvětlení S - ukázka [7]

Doplňkové třídy osvětlení ES se používají pro pěší zóny za účelem snížení rizika kriminálního deliktu a zvýšení pocitu bezpečí.

Doplňkové třídy osvětlení EV se používají v situacích, kde je třeba zajistit dobrou viditelnost svislých ploch, např. na křižovatkách.

7.2.4. Práce se souborem norem a postup stanovení tříd osvětlení [2]

V této části provedeme rozbor souboru technických norem a bude naznačen postup při určování jednotlivých tříd osvětlení pro základní skupinu uživatelů:

- Typ uživatele - M (motorová vozidla), S (velmi pomalá vozidla do 40km/h), C (cyklisté a mopedy do 50 km/h), P (chodci a osoby na invalidním vozíku).
- Modelová situace - A1, A2, A3, B1, B2, C1, D1, D2, D3, D4, E1, E2.
- Třída osvětlení - ME, MEW, CE, S, A, ES, EV.
- Stupeň osvětlení - ME1-6, MEW1-5, CE0-5, S1-7, A1-6, ES1-9, EV1-6.
- Fotometrické požadavky - \bar{L} , \bar{E} , U_0 , U_l , TI , SR , E_{hs} , E_{scmin} , $E_{v,min}$.

Typ uživatele a modelové situace

Určuje se, který uživatel je hlavní, který je povolený a který nepovolený. Kombinací čtyř typických rychlostí hlavního uživatele s dalšími povolenými a nepovolenými uživateli dostaneme několik modelových situací. V tabulkách modelových situací se posuzují parametry, které vedou k zařazení do tříd. Pro každou modelovou situaci jsou v normě k dispozici 2 tabulky, ve kterých určujeme:

- pro skupinu světelných situací A – převládající počasí, směrové rozdělení komunikace, druh a četnost křižovatek, intenzita silničního provozu, konfliktní oblast, složitost zorného pole, parkující vozidla, náročnost navigace, jas okolí,
- pro skupinu světelných situací B – převládající počasí, stavební opatření ke zklidnění dopravy, hustota křižovatek, náročnost navigace, intenzita silničního provozu, konfliktní oblast, složitost zorného pole, parkující vozidla, jas okolí,
- pro skupinu světelných situací C – stavební opatření ke zklidnění dopravy, riziko kriminality, rozpoznání obličeje, intenzita silničního provozu, jas okolí,
- pro skupinu světelných situací D – stavební opatření ke zklidnění dopravy, riziko kriminality, rozpoznání obličeje, intenzita cyklistického provozu, parkující vozidla, náročnost navigace, intenzita silničního, pěšího a cyklistického provozu, jas okolí,
- pro skupinu světelných situací E – riziko kriminality, rozpoznání obličeje, intenzita pěšího provozu, jas okolí.

Po zatřídění do tříd osvětlení, určíme hlavní světelnotechnické požadavky

- \bar{L} - průměrný jas povrchu pozemní komunikace, jas povrchu pozemní komunikace v jízdním pásu,
- \bar{E} - průměrná vodorovná osvětlenost úseku pozemní komunikace,
- U_0 - celková rovnoměrnost (průměrného jasu povrchu komunikace, osvětlenosti úseku komunikace nebo polokulové osvětlenosti),
- U_1 - podélná rovnoměrnost jasu v jízdním pásu,
- TI - prahový přírůstek, míra zhoršení viditelnosti způsobeného omezujícím oslněním svítidly osvětlovací soustavy,
- SR - činitel osvětlení okolí,
- E_{hs} - polokulová osvětlenost,
- $E_{sc,min}$ - nejmenší hodnota poloválcové osvětlenosti v rovině ve výšce 1,5 m nad úsekem pozemní komunikace,
- $E_{v,min}$ - nejmenší hodnota svislé osvětlenosti v rovině v dané výšce nad úsekem pozemní komunikace.

7.2.5. Příklad zatřídění - skupina komunikací – zatřídění ME5 [2]

Charakteristika komunikace – propojovací komunikace, poměrně zklidněná, nezařazená mezi komunikace základní sítě, sledované pravidelným sčítáním dopravy, je ale dopravně důležitější než obdobná ME6, nebo je obdobná, ale je po ní vedena cyklotrasa, nebo se v určitých intervalech příjezdů MHD stává více frekventovanou zejména chodci jdoucími zpravidla po krajnici.



Obr. 7.6: Příklad zatřídění VO ve městě Havířově

Lze ji tedy v duchu normy zařadit do skupiny světelných situací B2 v úsecích, kde je po této komunikaci např. značená cyklistická trasa (další hlavní uživatel - cyklisté), nebo je předpokládán jiný zvýšený výskyt účastníků silničního provozu.

Stanovení parametrů dle ČSN CEN/TR 13201-1:

- typická rychlost hlavního uživatele - >30 a ≤ 60 km·hod⁻¹, (nejedná se o nejvyšší povolenou rychlost danou zákonem),
- hlavní uživatel - motorová doprava, velmi pomalá vozidla, cyklisté,
- další povolený uživatel - chodci.

Z toho vyplývající zařazení do skupiny světelných situací:

- skupina světelných situací - B2.

Příloha A.5 normy ČSN CEN/TR 13201-1 – skupina světelných situací B2 / tab. A.9 - doporučený rozsah tříd osvětlení:

- převládající počasí - suché,
- stavební opatření ke zklidnění dopravy - neovlivňuje zařazení,
- hustota křižovatek na km – < 3 (křižovatky rovnocenných tříd, nikoli jen navazující, odbočující komunikace),
- náročnost navigace – běžná,
- intenzita silničního provozu (vozidel/den) - není podklad, předpokládá se < 7000 .

Příloha A.5 normy ČSN CEN/TR 13201-1 – skupina světelných situací B2 / tab. A.10 - doporučení pro výběr z rozsahu tříd osvětlení:

- konfliktní oblast – ne,
- složitost zorného pole – běžná,
- parkující vozidla - mohou se vyskytovat,
- jas okolí - malý nebo střední (oblast mimo centrum města),
- intenzita cyklistického provozu – běžná.

Doporučené zařazení: ME5

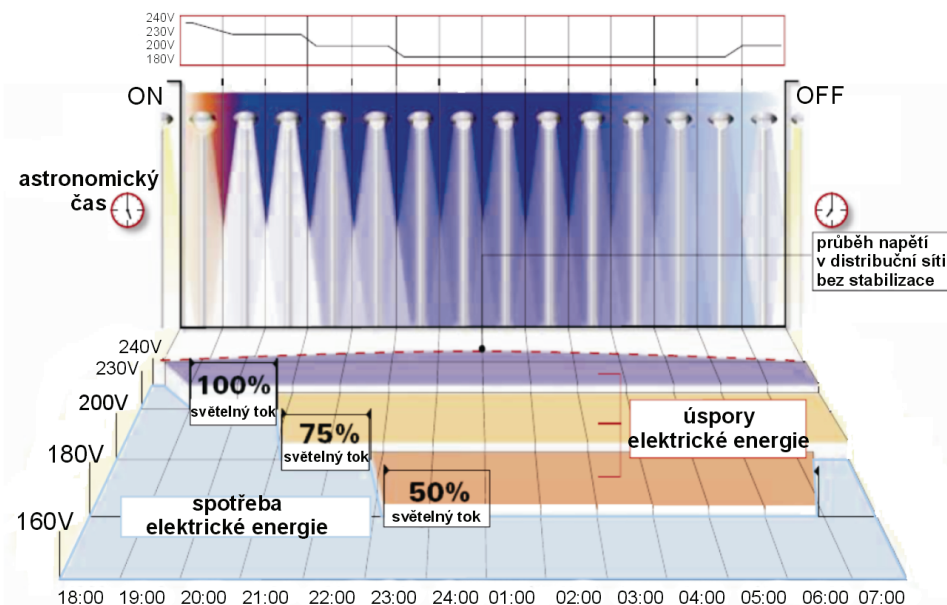
Porovnatelná třída, ČSN CEN/TR 13201-1: S3

7.2.6. Stmívání a systémy regulace VO

Stmívání VO

Vhodná třída osvětlení, která definuje světelné technické požadavky na osvětlení, se vybírá na základě funkce pozemní komunikace, navrhované rychlosti, cel-

kového uspořádání, intenzity dopravy, skladby uživatelů a environmentálních podmínek. Vyskytuje se mnoho dalších ovlivňujících parametrů, které se užívají na národních úrovních. V různých časových obdobích, nočních hodinách může docházet k významným rozdílům těchto parametrů, obzvláště ke změnám jasu okolí a intenzity provozu a na základě jejich změn lze adaptovat i osvětlení. Regulaci osvětlení zajišťují regulační zařízení, která stabilizují a provádí plynulou nebo stupňovou regulaci efektivní hodnoty napětí. Příklad regulace osvětlovací soustavy pro vysokotlaké sodíkové výbojky je uveden na obr. 7.7. [2]



Obr. 7.7: Úspory elektrické energie při regulaci příkonu osvětlovací soustavy [11]

Minimální hodnota napětí by při regulaci neměla poklesnout při síťovém kmitočtu pod 180V. Při nižším napětí se může výbojka dostávat do nestabilního stavu a jakákoliv dynamická změna může vyvolat zhasnutí výbojky. Při těchto napětích dochází k poklesu jasu a osvětlenosti asi o 65 % a poklesu příkonu asi o 55 %. Prakticky musíme uvažovat ještě úbytek napětí ve vodičích k nejbližšímu místu. Uvažujeme-li max. dovolený úbytek napětí ve vodiči 5 %, pak spodní rozsah regulace je limitován napětím 191,5 V. Výrazně snížený provoz nastává ve většině měst a obcí mezi 23:00 a 5:00 hodinou, což představuje dobu delší než 2 000 h za rok. To znamená, že teoreticky můžeme snížit po dobu 2 000 h výkon osvětlovacích soustav pozemních komunikací na polovinu. Prakticky se pak celková míra úspor spotřeby elektrické energie pohybuje na úrovni 20 - 30 %.

Dalším pozitivním aspektem regulačních systémů je kompenzace snížení světelného toku. Výbojky a zářivkové trubice „stárnou“ a jejich světelný tok se během jejich života snižuje, jak již bylo popsáno. To znamená, že v osvětlovací soustavě s novými zdroji - např. po provedení pravidelné údržby při činiteli 0,7 je počáteční hladina osvětlení o 30 % vyšší než je navrženo. Jakmile světelný zdroj dosáhne konce svého ekonomického života, hladina osvětlení se vyrovná projektované

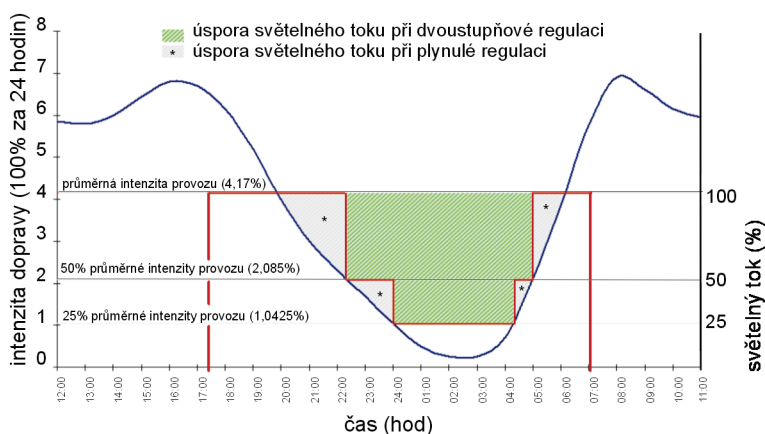
úrovni, nebereme-li v úvahu předdimenzování soustavy. Pomocí zpětné vazby může plynulá regulace osvětlení tento proces stárnutí eliminovat a osvětlenost může být regulována a udržována na požadované úrovni. Pokud je použit vhodný systém pro plynulou regulaci osvětlení, je možno dosáhnout úspory elektrické energie ve výši 10 až 15 %. Je však nutno říci, že při snižování světelného toku mírně klesá i měrný výkon světelného zdroje.

Při návrhu osvětlení je mnoho parametrů neznámých, proto se používá předpokládaných údajů. Díky tomuto faktoru je předdimenzování osvětlení obecným rysem. Pomocí systému pro plynulou regulaci se zpětnou vazbou je možno tyto faktory kompenzovat. Úspory jsou velmi závislé na stupni předdimenzování a dají se velmi přesně stanovit, pokud jsou známy exaktní výsledky návrhu osvětlení a parametry osvětlovaného prostoru. [2]

Systémy regulace VO

Dochází-li v průběhu noci k významným změnám intenzity dopravy, doporučuje se podle ČSN EN 13 201-1 použití vhodných prostředků ke snížení hladiny osvětlení a tím spotřeby energie. Při regulaci osvětlení je třeba zachovat rovnoměrnost osvětlení. Snížení hladiny osvětlení má být podloženo analýzou změn intenzity provozu na uvažované pozemní komunikaci (rozborem průměrných hodinových intenzit provozu) nebo změn jasu okolí v průběhu noci (v období provozu osvětlení). Připouští se snížení hladiny osvětlení až o 50 % jmenovité hladiny osvětlení (průměrné hodnoty udržovaného jasu nebo udržované osvětlenosti) odpovídající příslušné třídě osvětlení. V případě extrémního snížení intenzity dopravy je možno hladinu osvětlení snížit až o 65 % jmenovité hladiny osvětlení. Snížení osvětlení o více než 50 % jmenovité hladiny osvětlení musí být podloženo analýzou změn intenzity provozu na uvažované pozemní komunikaci a schváleno příslušným silničním správním úřadem. [2]

V oblastech s vysokým rizikem kriminality nebo nehodovosti v nočních hodinách se regulace osvětlení nedoporučuje.



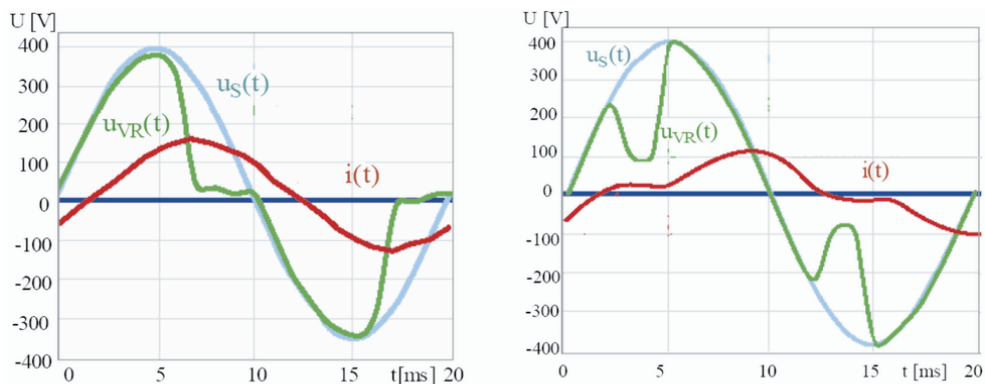
Obr.7.8: Příklad regulace osvětlovací soustavy pozemní komunikace v závislosti na intenzitě provozu [11]

Příklad regulace osvětlovací soustavy pozemní komunikace v závislosti na časových variacích (intenzitě) automobilové dopravy je uveden na obr. 7.8. Variace dopravy je nejintenzivnější v ranních (kolem 8:00) a odpoledních hodinách (kolem 16:00 h). Při poklesu intenzity dopravy pod průměrnou denní hodinovou hodnotu (4,17 %) je již regulace uplatňována způsobem plynulým (provozní regulační křivka kopíruje křivku variace dopravy maximálně však do 25 % průměrné denní hodinové intenzity) nebo skokovým (při 50 %, resp. 25 % průměrné denní hodinové intenzity).

Systémy regulují světelný tok výbojových zdrojů změnou efektivní hodnoty napětí, a to na principu fázové nebo amplitudové regulace.

Fázová regulace

Při fázové regulaci zůstává amplituda napětí nezměněna. Rozlišujeme dva způsoby fázové regulace NCWI a AWI. Jednofázovým měničem je v případě NCWI, resp. AWI regulace upraven sinusový průběh síťového napětí $u_S(t)$ ve vzeštné části $u_{VR}(t)$, resp. sestupné části, jak ukazují průběhy na obr. 7.9. První způsob se hodí pro plynulou regulaci prakticky pro všechny typy výbojových zdrojů, druhý způsob je vhodný zvláště pro regulaci vysokotlakých sodíkových, popřípadě halogenidových výbojek pracujících s konvekčními předřadníky. [2]



Obr. 7.9: Změna efektivní hodnoty napětí při fázové regulaci, vlevo se systémem AWI, vpravo se systémem NCWI [2]

Amplitudová regulace

Amplitudová regulace reguluje světelný tok zdroje změnou efektivní hodnoty napětí (změna amplitudy napětí). Systém je založen na bázi transformátorové regulace napětí. Systém je vhodný pro plynulou regulaci jen vysokotlakých sodíkových výbojek pracujících s konvekčními předřadníky s úrovní do 180 V.

Časové změny intenzity dopravy mohou vést k snížení hladiny osvětlení, tuto činnost zajišťují regulační jednotky s různou mírou inteligence. Míra inteligence je dána rozsahem a lokalizací akčních a měřících členů, a tím i rozsahem řízení a monitoringu osvětlovací soustavy. Volba regulačního systému je závislá především na potřebách provozovatele, topologii osvětlovací soustavy, počáteční investici a

provozních nákladech, možné způsoby výpočtů těchto nákladů jsou uvedeny v kapitole 12.1. V zásadě lze rozdělit regulaci osvětlení na skupinovou a individuální. [2]

Skupinová regulace

Skupinová regulace je zajištěna skupinovým regulátorem, který je schopen redukovat a stabilizovat napětí v síti, a tím i velikost světelného toku. Skupinový regulátor, zpravidla na bázi transformátorů nebo fázových měničů, umožňuje více-
stupňovou nebo plynulou regulaci a umísťuje se v samostatné skříni v blízkosti zapínacího místa (rozdávěč veřejného osvětlení). [2]

Individuální regulace

Pro řízení světelných zdrojů svítidel je v samotném sloupu, v zemi pod sloupem či v samotném krytu svítidla umístěn modul pro komunikaci s obsluhou a centrálním zařízením. Na obr. 7.10 je ukázka takového modulu, který dokáže diagnostikovat chyby ve svítidle, zkrat výbojky, spálenou výbojku, chybný či špatně fungující kondenzátor, nízké napětí na výbojce, vadnou pojistku, blikání světelného zdroje, automatické vypnutí startéru v případě vadné výbojky či stabilizátor proudu s funkcí dvojího napájení pro redukcí světelného toku.



Obr. 7.10: Vlevo) Modul pro svítidla s výbojkou 250- 400 W, Vpravo) možný způsob instalace ve sloupu VO [13]

7.2.7. Dohledový systém

Kvalitní dohledový systém představuje nejvyšší a nejmodernější stupeň řízení veřejného osvětlení, do kterého může být zahrnuto i slavnostní či architektonické osvětlení památek a významných budov nebo osvětlení přechodů pro chodce v lokalitách s významnými výkyvy intenzity dopravy a pohybu pěších osob. Dohledový informační systém je modulární systém s centrální řídicí jednotkou, který je určený k obousměrné komunikaci s daným elektrickým zařízením. Mimo pasivní sběr informací dokáže systém také aktivně vykonávat základní řídicí operace a to buď dle svého nastavení, nebo v rámci režimu dálkové správy. Kromě okamžité informace o stavu zařízení umožňuje nainstalovaný systém řízení stanovených skupin ve specifickém režimu, který odpovídá potřebě osvětlení v místech a době,

kteřou skutečně daná situace a lokalita vyžaduje. Jisté formy dohledových systémů jsou v současné době prakticky využívány ve všech odvětvích.

Mezi hlavní výhody dohledového systému patří úspory spojené s údržbou osvětlovací soustavy (přesná identifikace poruchy a omezení výjezdu techniků), hospodárné nakládání s elektrickou energií (přesně definovaný cyklus zapínání a vypínání svítidel dle astronomických hodin či intenzity a rychlosti dopravy), sběr informací do pasportu o každém světelném místě a omezení rušivého osvětlení, správa a diagnostika na dálku a v neposlední řadě také komfort obsluhy.

7.3. Literatura ke kapitole

- [1] Sokanský K., Novák, T., Voráček, J. a kol.: Dominantní vlivy ovlivňující spotřebu elektrické energie osvětlovacích soustav, 2007, Ostrava, Dostupné na URL: <<http://www.csorsostrava.cz/>>
- [2] Sokanský K., Novák, T., Voráček, J. a kol.: Potenciál energetických úspor veřejného osvětlení v ČR, 2007, Ostrava, Dostupné na URL: <<http://www.csorsostrava.cz/>>
- [3] Sokanský K., Novák, T., Voráček, J. a kol.: Snižování energetické náročnosti venkovních osvětlovacích soustav, 2010, Ostrava, ISBN 978-80-248-2481-9, Dostupné na URL: <<http://www.csorsostrava.cz/>>
- [4] Gašparovský D., Smola A.: Návrh umělého osvětlení interiérů a exteriérů, 2011, Bratislava, ISBN 978-80-8106-046-5
- [5] ČSN EN 50160 (33 0122): Charakteristiky napětí elektrické energie dodávané z veřejné distribuční sítě, Český normalizační institut, Praha 2000
- [6] ČSN CEN/TR 132 01-1 Osvětlení pozemních komunikací, Část 1: Výběr tříd osvětlení
- [7] ČSN EN 132 01-2 Osvětlení pozemních komunikací – Část 2: Požadavky
- [8] ČSN EN 132 01-3 Osvětlení pozemních komunikací – Část 3: Výpočet
- [9] ČSN EN 132 01-4 Osvětlení pozemních komunikací – Část 4: Měření
- [10] ČSN EN 15193 Energetická náročnost budov – Energetické požadavky na osvětlení
- [11] Edelcom, Systém Luxicom, firemní materiál 2006
- [12] DiLaura, D., Houser, K., Mistrick, R., Steffy, G.: Illuminating Engineering Society: The lighting handbook (tenth edition), ISBN 978-0-87995-241-9
- [13] Firemní materiál firmy UMPI Elettronica S.r.l., Dostupné na URL: <<http://www.minos-system.com>>

8. Venkovní osvětlení

Stejně jako ve vnitřních prostorech se umělé osvětlení ve venkovním prostředí začalo ve větší míře rozšiřovat po objevení vhodných elektrických světelných zdrojů. Se zaváděním světelných zdrojů začalo docházet k výraznějším změnám noční podoby světelného prostředí oproti přirozenému, dennímu, světelnému prostředí, na které byl člověk dlouhodobě adaptován. Přístup k osvětlování venkovních prostorů umělým světlem se mění od čistě intuitivního k předem promyšlenému procesu. Začaly se zkoumat jednotlivé zrakové úkoly a činnosti a na základě reálných testů a úrovně poznání byly stanoveny potřebné světelnotechnické parametry. Ty se následně objevily v rámci národních a mezinárodních doporučení, předpisů a norem. V České republice se používá norma ČSN EN 12464-2 Světlo a osvětlení – Osvětlení pracovních prostorů – Část 2: Venkovní pracovní prostory.

Osvětlení venkovních prostorů lze rozdělit do následujících aplikačních oblastí: venkovní pracovní prostory; reklamní osvětlení; architektonické osvětlení; osvětlování sportovišť; rušivé světlo.

Při návrhu osvětlení je třeba si uvědomit, že primárním cílem je vytvoření vhodných světelných podmínek pro konkrétní prostor nebo zrakový úkol, avšak nesmí být opomenuta ani energetická náročnost včetně ekologických aspektů. Je možno říci, že návrh osvětlení by měl být proveden tak, aby požadovaných světelnotechnických parametrů bylo dosaženo při minimální energetické náročnosti a minimálním negativním vlivu na okolní prostředí. [1]

8.1. Základní požadavky

Základem dobré osvětlovací praxe je splnit kromě požadované osvětlenosti další kvalitativní a kvantitativní požadavky.

Hlavní parametry určující světelné prostředí jsou rozložení jasu, osvětlenost, oslnění, směrovost světla, modelace, podání barev a barevný tón světla a stroboskopický jev.

8.1.1. Rozložení jasu

Rozložení jasu v zorném poli určuje úroveň adaptace zraku, která ovlivňuje viditelnost úkolu. Velmi dobře vyvážený adaptační jas je potřebný ke zvětšení zrakové ostrosti (ostrosti vidění), kontrastní citlivosti (rozlišení malých poměrných rozdílů jasu) a účinnosti zrakových funkcí (jako akomodace, konvergence, zmenšování zornice, oční pohyby).

Rozložení jasu v zorném poli ovlivňuje také zrakovou pohodu. Z tohoto důvodu je třeba vyloučit náhlé změny osvětlenosti. [1]

8.1.2. Osvětlenost

Osvětlenost a její rozložení v místě zrakového úkolu a v jeho bezprostředním okolí mají velký vliv na to, jak rychle, bezpečně a pohodlně osoba vnímá a vykonává zrakový úkol. Všechny hodnoty osvětleností uvedené v normě ČSN EN 12464-2 jsou udržované osvětlenosti a zajišťují potřebnou zrakovou pohodu, zrakový výkon a bezpečnostní požadavky.

Doporučené hodnoty udržované osvětlenosti (v luxech) v místech zrakového úkolu na srovnávací rovině, jež může být vodorovná, svislá nebo nakloněná, jsou z řady: 5 – 10 – 15 – 20 – 30 – 50 – 100 – 150 – 200 – 300 – 500 – 750 – 1 500 – 2 000.

Zvolená průměrná osvětlenost v každém místě zrakového úkolu (v závislosti na zvoleném prostředí) se nesmí zmenšit pod hodnotu uvedenou v řadě bez ohledu na stáří a stav osvětlovací soustavy.

Hodnota osvětlenosti může být upřesněna nejméně o jeden stupeň řady osvětleností, liší-li se zrakové podmínky od normálních předpokladů. [1]

8.1.3. Oslnění

Oslnění je počíteč způsobený jasnými plochami v zorném poli a může se projevit buď jako rušivé oslnění, nebo jako omezující oslnění.

Je důležité omezit oslnění uživatelů, aby se předešlo chybám, únavě a nehodám. Zvláště je třeba se vyhnout oslnění při směru pohledu nad horizont.

Přímé oslnění svítidly venkovních osvětlovacích soustav se musí určovat metodou CIE - GR (CIE - Glare Rating method) založené na vzorci:

$$GR = 27 + 24 \cdot \log_{10} \left(\frac{L_{v1}}{L_{ve}^{0,9}} \right) \quad (8.1)$$

kde GR - oslnění (-); L_{v1} - celkový závojevý jas způsobený osvětlovací soustavou, je to součet jednotlivých závojevých jasů všech svítidel $L_{v1} = L_{v1} + L_{v2} + L_{vn}$ ($\text{cd} \cdot \text{m}^{-2}$); L_{ve} - ekvivalentní závojevý jas pozadí ($\text{cd} \cdot \text{m}^{-2}$).

Závojevý jas svítidla se vypočítá:

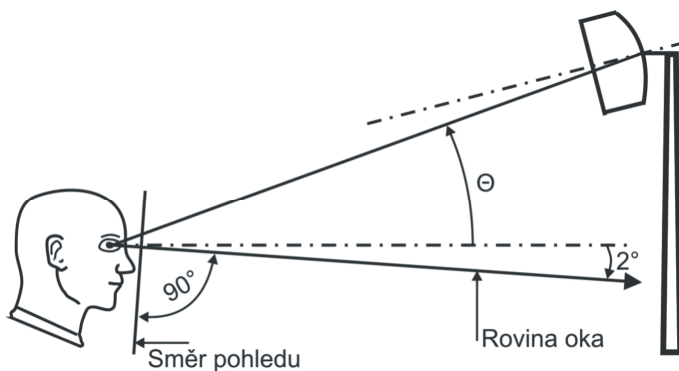
$$L_v = 10 \cdot \left(\frac{E_{eye}}{\Theta^2} \right) \quad (8.2)$$

kde L_v - závojevý jas svítidla ($\text{cd} \cdot \text{m}^{-2}$); E_{eye} - osvětlenost oka pozorovatele v rovině kolmé na směr pohledu (2° pod vodorovný směr, viz obr. 8.1 (Ix); Θ - úhel mezi směrem pohledu a směrem světla dopadajícího od svítidla ($^\circ$).

Za předpokladu, že odraz pozadí je rovnoměrně rozptýlný, lze ekvivalentní závojevý jas pozadí vypočítat ze vztahu:

$$L_{ve} = 0,035 \cdot \left(\frac{\rho \cdot E_{hav}}{\pi} \right) \quad (8.3)$$

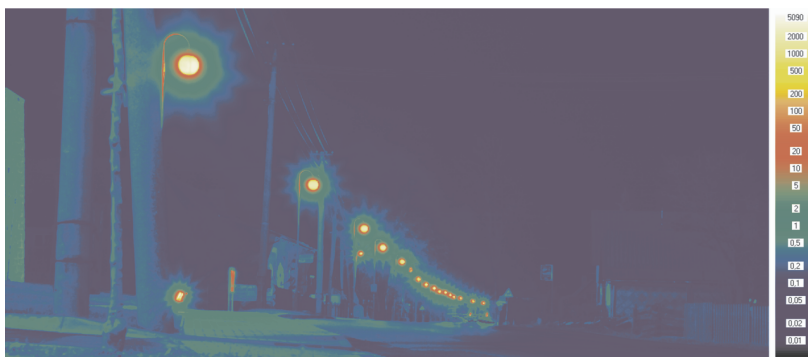
kde L_{ve} - ekvivalentní závojevý jas ($\text{cd} \cdot \text{m}^{-2}$); ρ - průměrný činitel odrazu (-); E_{hav} - průměrná horizontální osvětlenost prostoru (Ix).



Obr. 8.1: Úhel mezi směrem pohledu pozorovatele a směrem světla dopadajícího od svítidla. [1]

Oslnění se má počítat v kontrolní síti bodů pro zrakový úkol v radiálních směrech po 45° počínaje směrem rovnoběžným s délkou prostoru. Všechny předpoklady při výpočtu GR musí být uvedeny v projektové dokumentaci. Hodnoty GR osvětlovací soustavy nesmí přesahovat hodnoty (GR_L) uvedené v normě ČSN EN 12464-2. [1]

Velmi jasné odrazy do míst zrakového úkolu mohou měnit jeho viditelnost, zpravidla zhoršovat. Závoje oslnění a oslnění odrazem může být omezeno těmito opatřeními: vhodným rozmístěním svítidel a pracovišť; povrchovou úpravou (např. matnými povrchy); omezením jasu svítidel; zvětšením svítící plochy svítidla.



Obr. 8.2: Jasová mapa s nevhodně zvolenou venkovní osvětlovací soustavou.

Na obr. 8.2 je vidět osvětlovací soustava s kulovými svítidly. Z jasové mapy je patrné nevhodné zvolení svítidel s kulovou vyzařovací charakteristikou, jednak z důvodu oslnění, ale také z důvodu rušivého světla.

8.1.4. Směřované osvětlení

Směrové vlastnosti osvětlení se popisují směrovostí, která vystihuje převažující směr šíření světla v daném místě prostoru a můžeme jí popsat světelným vek-

torem. Stínivost osvětlení zase udává schopnost osvětlení vytvářet na trojrozměrných předmětech stíny.

Směřované osvětlení může být použito pro zvýraznění objektu, odhalení struktury a zlepšení vzhledu osob. Směřované osvětlení zrakového úkolu může také ovlivnit jeho viditelnost. [1]

8.1.5. Modelace

Modelace je vyváženost difúzního a směrovaného světla. Je významným kritériem kvality osvětlení téměř ve všech možných případech. Osoby a předměty mají být osvětleny tak, aby se jejich tvar a textura jevíly jasně a příjemně. To nastává v případě, že světlo dopadá převážně jen z jednoho směru. Takto vzniklé stíny neukazují na vyváženost difúzního a směrovaného světla. [1]

8.1.6. Hlediska barev

Kvalita barvy světla světelných zdrojů s bílým odstínem barvy je charakterizována barevným tónem světla zdroje a indexem podání barev, který ovlivňuje barevný vzhled předmětů i osob. [1]

8.1.7. Osvětlenost okolí zrakového úkolu

Osvětlenost okolí úkolu musí souviset s osvětlením místa zrakového úkolu a má poskytovat vyvážené rozložení jasů v zorném poli. Velké prostorové změny osvětleností v okolí úkolu mohou vyvolat stresové namáhání zraku a zrakovou nepohodu. Osvětlenost bezprostředního okolí úkolu může být menší než osvětlenost úkolu, avšak nesmí být menší než hodnoty uvedené v tab. 8.1.

Osvětlenost úkolu (lx)	Osvětlenost okolí úkolu (lx)
≥500	100
300	75
200	50
150	30
$50 \leq \bar{E}_m \leq 100$	20
< 50	není specifikováno

Tab. 8.1: Poměr osvětleností úkolu a jeho okolí

Osvětlení musí kromě osvětlenosti zrakového úkolu poskytnout přiměřený adaptační jas. [1]

8.2. Venkovní pracovní prostory

Pravidelnému střídání dne a noci se přizpůsobil i životní rytmus člověka. Ve dne je člověk aktivní a v noci odpočívá. Informace o změně světelných podmínek jsou snímány v lidském oku a přenášeny do mimozrakových mozkových center, které řídí biologické pochody v lidském těle. Pravidelné střídání dne a noci je tedy součástí přirozeného prostředí, ve kterém se člověk vyvíjel po desítky tisíc let.

S nástupem a rozvojem městských civilizací začal člověk intenzivněji využívat venkovní prostředí i v nočních hodinách. V pozdějším období se umělé osvětlení začíná používat k osvětlení různých venkovních pracovišť, v lodní a železniční dopravě a venkovních sportovištích. Se zaváděním umělých světelných zdrojů začalo docházet k výraznějším změnám noční podoby světelného prostředí oproti přirozenému, na které byl člověk dlouhodobě adaptován.

Přístup k osvětlování prostorů umělým světlem se mění od čistě intuitivního k předem promyšlenému procesu. Začaly se zkoumat jednotlivé zrakové úkoly a činnosti a na základě reálných testů a úrovně poznání byly stanoveny potřebné světelnotechnické parametry.

Požadované světelnotechnické parametry pro návrh osvětlení venkovních pracovních prostorů jsou v dnešní době začleněny do národních a mezinárodních norem (např. u nás ČSN EN 12464-2). [1]

8.2.1. Přehled prostorů, úkolů a činností

V současnosti člověk vykonává pracovní činnosti v celé řadě odvětví. Za nejdůležitější venkovní pracovní prostory lze považovat komunikační prostory, staveniště, zemědělské farmy, čerpací stanice pohonných hmot, průmyslové a skladovací prostory, železniční a tramvajové dráhy.

V normě ČSN EN 12464-2, v kapitole 5, je uveden seznam prostorů, úkolů nebo činností, pro něž jsou stanoveny jednotlivé požadavky (nejsou-li v seznamu některé venkovní prostory, úkoly nebo aktivity uvedeny, mají se převzít hodnoty pro podobné, srovnatelné situace). Pro názornost je zde uvedena tabulka tab. 8.2 z této normy. [1]

Referenční číslo	Druh prostoru, úkolu nebo činnosti	\bar{E}_{cp} (lx)	U_0 –	GR_L –	R_a –	Poznámky
5.11.1	Pěší provoz v elektricky bezpečných prostorech	5	0,25	50	20	
5.11.2	Manipulace se servisním náradím, zaúhlování	20	0,25	55	20	
5.11.3	Celková kontrola	50	0,40	50	20	
5.11.4	Celkové servisní práce a odečty přístrojů	100	0,40	45	40	
5.11.5	Větrací kanály – obsluha a údržba	100	0,40	45	40	
5.11.6	Opravy elektrických zařízení	200	0,50	45	60	Použij místní osvětlení.

Tab. 8.2: Příklad požadavků na osvětlení venkovních pracovních prostor - elektrárny [1]

8.3. Osvětlování reklam

V době rozmachu světelných zdrojů a kreativity svítidel se všude kolem nás instalují různé poutače, reklamní panely a mnoho dalších zařízení. Mají za úkol upoutat naši pozornost a napovědět nám, co je pro nás nejlepší. Reklamní poutače jsou umístěny podél komunikací, na budovách, na volných prostranstvích apod. Většinu z nich během dne vnímáme, aniž bychom si to uvědomovali. Ale v noci nás přitahují svým specifickým osvětlením, které vyniká v okolním prostředí.

Původně byly k výrobě světelné reklamy a světelných nápisů používány barevné světelné trubice plněné plynem (neon a další). Odtud pochází název neonová reklama. Tyto neonové trubice byly postupně nahrazovány zářivkami a výbojkami. V současné době jsou výbojky a zářivky nahrazovány světelnými diodami (LED). Kromě nápisů podsvícených speciálními LED se používají barevné LED panely. Tyto speciální diodové matrice mají řídicí jednotku, která s pomocí programu vytváří obrazce nebo vizi pohybu. Tento princip je použitý u jiných typů „pohybující se“ světelné reklamy, kde zdání pohybu je vytvořeno přepínáním dvou či více obrazců a nebo pomocí programu, který ovládá správné načasování rozsvícení a zhasnutí každého z bodů matice. Vývoj ve světelných diodách (LED) umožnil jejich aplikaci ve velkoplošných panelech i obrazkách. [7]

Při návrhu reklamního zařízení je nutné splnit parametry uvedené v normě ČSN EN 12464-2 ohledně rušivého světla. Rušivé světlo může negativně ovlivnit ekosystém, objekty bydlení nebo bezpečnost dopravy.

8.3.1. Rozdělení reklamních ploch z hlediska osvětlování

V principu lze reklamní a informační tabule rozdělit z hlediska osvětlování na dvě skupiny. Jednu skupinu tvoří pasivní reklamy, tedy ty, které nesvítlí, v noci obvykle nejsou pozorovatelné (jsou světelně neaktivní) a proto se jimi nebudeme zabývat. Druhou skupinu tvoří reklamy opatřené umělým osvětlením, které lze rozdělit do několika podskupin.

Reklamní plochy osvětlované z vnějšího zdroje světla – tedy reklamy, které jsou osvětlovány světlomety nebo jinými zdroji světla, které jsou oddáleny od plochy reklamy – obr. 8.3.



Obr. 8.3: Reklamní plocha s vnějším zdrojem světla

Reklamní plochy s vnitřním zdrojem světla, kdy je uvnitř reklamy umístěn zdroj světla, který prosvětluje průsvitnou převážně plastovou barevnou fólii vlastního panelu - obr. 8.4.



Obr. 8.4: Reklamní informační tabule s vnitřním zdrojem světla



Obr. 8.5: Informační tabule pro nouzový únik s vnitřním zdrojem světla

Plochy s povrchovým zdrojem světla

S neměnnou informací nebo několika omezenými informacemi (obr. 8.6) jsou reklamní tabule, kde jsou informace pevně dány, např. tvarem neonových trubíc, ty mohou poskytovat jednu informaci nebo několik postupným zapínáním a vypínáním několika okruhů.



Obr. 8.6: Neměnná informace – nápis však může blikat

S proměnlivými informacemi - obr. 8.7 jsou nejmodernější typy reklamních a informativních ploch, které využívají LED k vyobrazení textů a obrázků.

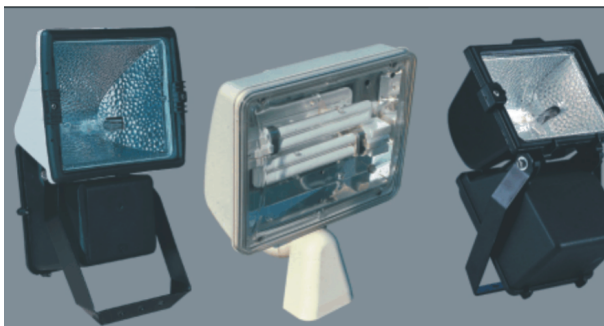


Obr. 8.7: Proměnlivá informace – obrazce se mohou libovolně měnit díky počítačem řízené matici ze světelných diod [7]

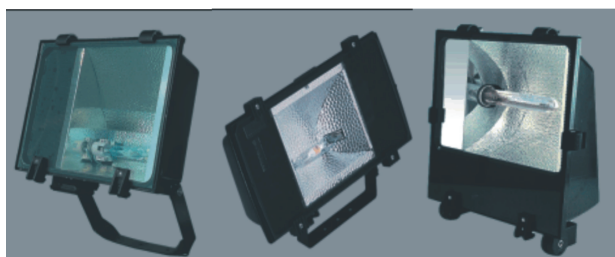
8.3.2. Osvětlení reklamních ploch

Pro malé reklamní plochy charakteru informačních štítů na prodejních, navigačních tabulích apod. je vhodné použít svítidla s relativně malým světelným tokem.

Pro osvětlení velkých billboardů jsou určena především svítidla, která svými světelnotechnickými vlastnostmi splňují nároky na osvětlení rozměrných ploch. Kvůli náročným požadavkům na osvětlení a životnost by měla být svítidla vyrobena z litého hliníku a krycí sklo by mělo být tvrzené. Takováto svítidla je možné osadit halogenidovými výbojkami od 70 do 400 W. Je možné použít svítidla s vyzařovací charakteristikou jak symetrickou, tak i asymetrickou podle požadavků. Některá svítidla s rotačně symetrickou vyzařovací charakteristikou je možné ještě doplnit prizmatickým sklem a upravit vyzařovací charakteristiku do tvaru elipsy. Takto upravená svítidla je možné použít např. při osvětlení reklam na úzkých svislých objektech (komíny, patrové budovy atd.).



Obr. 8.8: Příklad svítidel vhodných pro osvětlování malých reklamních ploch



Obr. 8.9: Svítidla vhodná pro osvětlování velkých reklamních ploch

U svítidel na osvětlení reklamních ploch je nabízeno velké množství příslušenství (výložníkové tyče, mřížky proti oslnění, clony, stínítka, ochranné mřížky atd.). [3]

8.3.3. Základní kritéria návrhu světelné reklamy

Při návrhu osvětlení reklamních panelů je nutné zohlednit některá základní kritéria, jako jsou základní rozměr světelné reklamy, tvar a velikost osvětlované plochy, druh materiálu, poloha vzhledem k vozovce, chodníku, k sousedícím objektům a rušivému světlu.

Kategorie	Jas okrajového pole (okolí)	Charakteristika prostředí
I.	$< 0,3 \text{ cd}\cdot\text{m}^{-2}$	Neosvětlené prostředí, silnice, noční obloha
II.	$> 0,3 \text{ až } 3,0 \text{ cd}\cdot\text{m}^{-2}$	Mírně osvětlené prostředí, průměrně osvětlená vozovka, individuální světelné body
III.	$>3,0 \text{ cd}\cdot\text{m}^{-2}$	Silně osvětlené prostředí, vyšší úroveň osvětlení vozovky, více světelných zdrojů

Tab. 8.3: Základní rozdělení prostředí [3]

Dalším velmi důležitým faktorem světelného návrhu je stanovení charakteru prostředí, v jakém má být reklamní panel umístěn. Základní rozdělení prostředí je v tab. 8.3. Doplnujícími faktory jsou posouzení okolních ploch z hlediska jejich jasu, polohy a druhu zařízení ohledně zajištění bezpečnosti a provozu na komunikacích. V neposlední řadě, při návrhu osvětlovací soustavy, je nutné brát v úvahu nejen umístění svítidel, co se týče údržby a výměny světelných zdrojů, ale také zajištění svítidel proti krádežím.

Kategorie prostředí	Maximální hodnota svítivosti při celkové ploše $S < 20 \text{ m}^2$	Maximální hodnota jasu při celkové ploše $S > 20 \text{ m}^2$
I.	100 cd	$5 \text{ cd}\cdot\text{m}^{-2}$
II.	300 cd	$15 \text{ cd}\cdot\text{m}^{-2}$
III.	1 000 cd	$50 \text{ cd}\cdot\text{m}^{-2}$

Tab. 8.4: Maximální přípustné hodnoty svítivosti a jasu podle velikosti osvětlované reklamní plochy [3]

Budou-li tyto hodnoty překročeny, bude na tyto plochy upoutávána pozornost, přičemž hrozí odpoutání pozornosti řidičů od řízení, dokonce může vzniknout nebezpečná situace jejich oslnění.

Jestliže se v zorném poli promítá několik takových ploch, je nutné zjistit, zda v kategorii I je jejich vzdálenost kratší než 10 m a v kategorii II kratší než 5 m. Pro kategorii III je nutné posoudit vzdálenost každého reklamního zařízení k sousednímu vždy individuálně.

Pro osvětlování reklamních ploch je nutné používat takové světelné zdroje, které mají dlouhou životnost a zajišťují co nejlepší podání barev osvětlovaného objektu.

V blízkosti dopravních zařízení, např. semaforů, se nesmí k osvětlení používat takové světelné zdroje, které by svým světelným tokem a barvou znemožňovaly řidičům správně hodnotit dopravní situaci. [3]

8.4. Architektonické osvětlení

Architektura je vždy obrazem své doby. I dnes musí reagovat na stále více technický, multimediální svět. Technické součásti budov stále více utváří naše životní prostředí.

Při navrhování se tedy dostává do popředí také otázka osvětlení budov. Otázka osvětlení se rozšířila z problematiky návrhu designu svítidla na problematiku volby vhodného světelného zdroje, jeho světelného toku, barvy, optiky, životnosti a v neposlední řadě ekologických aspektů jeho využívání. Vhodná volba svítidel pak může zásadně ovlivnit vyznění celého architektonického návrhu, podtrhnout nebo zcela narušit záměr autora. [7]

Při volbě typu svítidla je potřeba se soustředit především na výsledný efekt, kterého chceme dosáhnout. Zda se nám jedná o souvislé nasvícení prostoru nebo zvýraznění některých jeho částí a prvků. Jaké atmosféry chceme docílit. Bodové nasvícení některých částí interiéru vyvolává intimnější dojem než osvětlení plošné. Pomocí světla lze směřovat pozornost osob ke konkrétním cílům, ale také docílit zvláštních prostorových efektů.

Dalším důležitým faktorem je typ světelného zdroje, který bude ve svítidle osazen. Světelné zdroje vybíráme podle teploty chromatičnosti, svítivosti, životnosti, jejich ceny a vhodného způsobu využití.

Při návrhu architektonického osvětlení se primárně nesleduje zrakový výkon, ale výtvarný účinek osvětlení. Výsledný účinek architektonického osvětlení závisí nejen na tvaru osvětlovaného objektu, ale také na barevných vlastnostech a struktuře jeho povrchů, na okolním prostředí, klimatických podmínkách, roční době a způsobu osvětlení. Mezi objekty, které lze světelně zdůraznit architektonickým a dekorativním osvětlením patří budovy (moderní i historické), technické stavby (mosty, přehrady, vysílací věže apod.), drobná architektura a umělecká díla (sochy, pomníky), stromy a zeleň, vodní prvky a plochy.

V případě veřejných budov, kostelů, pomníků, historických budov, mostů atd., představuje architektonické osvětlení určitý způsob vyjádření hrdosti a identity

místních obyvatel. Návrh architektonického osvětlení lze rozdělit do analytické, koncepční a technické části.

V rámci první analytické části se provádí sběr údajů, které jsou pro návrh architektonického osvětlení důležité a ovlivňují jeho výsledný účinek i finanční náročnost. Druhá koncepční část definuje, jak má být daný objekt osvětlen, jak a kdy se má vizuálně uplatňovat. V poslední části se pak určuje, jakými technickými prostředky se požadovaného vizuálního účinku dosáhne. [7]

8.4.1. Analytická část

Hlavním účelem architektonického osvětlení, na rozdíl od jiných venkovních aplikačních oblastí, je jeho výtvarné působení v některých případech kombinované s propagačním a reklamním působením. Analytická část návrhu architektonického osvětlení má velký význam a vliv nejen na výsledný účinek a kvalitu architektonického osvětlení, ale také na energetickou náročnost a rušivé účinky osvětlení na okolní prostředí.

Zásadní informací pro návrh architektonického osvětlení je stanovení základních pozorovacích směrů. Z těchto směrů se pak zpravidla určí hlavní pozorovací směr, ze kterého by měl být pohled na osvětlovaný objekt nejatraktivnější. Tomu se následně přizpůsobuje koncepce osvětlení, skladba jasů i rozmístění svítidel. Osvětlovací soustava by měla být navržena tak, aby ve zvolených pozorovacích směrech nebyly viditelné svítící části svítidel. [7]

8.4.2. Koncepční část

Na základě provedené analýzy jsou k dispozici nezbytné údaje pro další fázi návrhu osvětlení, kterou je koncepční část. V rámci této části je definována vizuální podoba architektonického osvětlení, zda bude mít jeden či více časových plánů jednotlivých provozních režimů, jak bude provozována v průběhu roku a základní úvahy o rozmístění osvětlovací soustavy.

Výtvarný návrh osvětlení

Základem architektonického osvětlení je výtvarný návrh vzhledu osvětlovaného objektu ve večerních a nočních hodinách, v rámci kterého je třeba zohlednit nejen architektonickou a historickou hodnotu objektu, jeho tvar, ale také okolí, do kterého je objekt zasazen. Vzhledem k tomu, že se jedná o estetickou záležitost, měl by být autorem této části architektonického osvětlení architekt nebo výtvarník.

Pracovní režimy a ovládání osvětlení

Provozní režimy bezprostředně souvisí s tím, jak se bude architektonické osvětlení používat. Pro jejich volbu jsou důležité informace o bezprostředním okolí, jeho noční atmosféře a rytmu v průběhu celého roku. Provozní doba se volí v časovém rozmezí, ve kterém má architektonické osvětlení smysl a velmi často je ohraničena dobou soumraku a půlnocí.

Světelnětechnické parametry

Světelnětechnické parametry se obecně při návrhu venkovního osvětlení posuzují ze dvou hledisek. První hledisko má na mysli vytvoření určitého světelného prostředí souvisejícího se zrakovým vjemem, druhé hledisko souvisí s rušivým světlem.

Mezi hlavní světelnětechnické parametry, z pohledu vizuálního vjemu, patří jas povrchů osvětlovaného objektu L_{bm} . Při jeho volbě se zohledňuje jas okolního prostředí a pozorovací vzdálenosti. Doporučené hodnoty jasů jsou uvedeny v tab. 8.5.

Jas okolí	Popis prostředí	Jas L_{bm} ($\text{cd}\cdot\text{m}^{-2}$)	
		malá pozorovací vzdálenost	velká pozorovací vzdálenost
malý	venkovské oblasti	4 $\text{cd}\cdot\text{m}^{-2}$	5 $\text{cd}\cdot\text{m}^{-2}$
střední	malá města a předměstí velkých měst	6 $\text{cd}\cdot\text{m}^{-2}$	8 $\text{cd}\cdot\text{m}^{-2}$
velký	zábavní a komerční oblasti, centra velkých měst	12 $\text{cd}\cdot\text{m}^{-2}$	16 $\text{cd}\cdot\text{m}^{-2}$

Tab. 8.5: Doporučené hodnoty povrchových jasů u architektonického osvětlení [7]

Pokud má být při architektonickém osvětlení dosaženo dobrého prostorového a plastického vzhledu, je u geometricky jednoduchých objektů důležité, aby na sebe navazující plochy, například dvě na sebe kolmé stěny budovy, měly rozdílné úrovně jasů. Za předpokladu, že osvětlované povrchy mají difúzní charakter odrazu, lze na základě požadovaného jasů L_{bm} stanovit potřebnou osvětlenost povrchu E_{bm} ze vztahu:

$$E_{bm} = \frac{L_{bm} \cdot \pi}{\rho} \quad (8.4)$$

kde E_{bm} - průměrná hodnota udržované osvětlenosti povrchu (lx); L_{bm} - průměrná udržovaná hodnota jasů povrchu ($\text{cd}\cdot\text{m}^{-2}$); ρ - hodnota činitele odrazu osvětlovaného povrchu (-)

Volba barevných vlastností použitých světelných zdrojů souvisí s požadovaným výsledným vizuálním účinkem, a proto nemá význam tyto parametry jednoznačně doporučovat nebo předepisovat. Nicméně výsledný barevný vjem osvětlovaného objektu souvisí se spektrálními vlastnostmi odrazu osvětlovaného objektu i použitých světelných zdrojů. V případě, že se požaduje věrný vjem barev osvětlovaného objektu, je třeba použít světelné zdroje s vysokým indexem podání barev nebo světelné zdroje, jejichž spektrální složení odpovídá spektrálním vlastnostem odrazu osvětlovaného povrchu.

Směrové vlastnosti osvětlení jsou, vedle rozložení jasů, druhým světelnětechnickým parametrem, který významně ovlivňuje prostorové vnímání osvětlovaného objektu. Pokud má objekt výrazné architektonické členění, je třeba volit takový

směr dopadu světla, aby vzniklé stíny podpořily prostorový vjem objektu. Pokud však dopadá světlo z nevhodného směru, může být objekt sice vnímán prostorově, ale bude působit nepřírozně. K této situaci může dojít, pokud světlo přichází ze směru, který není v přirozeném prostředí obvyklý.

Volba osvětlovací soustavy

Pro architektonické osvětlení lze použít vzdálenou nebo blízkou osvětlovací soustavu, případně jejich kombinaci. Tyto soustavy se mezi sebou liší umístěním vůči osvětlovanému objektu. Používanější soustavou je osvětlovací soustava vzdálená, u které jsou svítidla umístěna v určitém odstupu od objektu. Menší objekty do výšky přibližně 10 m lze osvětlit svítilkami, umístěnými v úrovni terénu, avšak vzdálenost svítidel od objektu by měla být rovna minimálně dvěma třetinám výšky objektu. Zpravidla se však svítidla u tohoto typu soustavy instalují na stožáry nebo okolní objekty. U osvětlovací soustavy blízké se svítidla upevňují přímo na osvětlovaný objekt nebo v jeho těsné blízkosti. Tento typ osvětlovací soustavy se používá v případech, kdy svítidla nelze instalovat v úrovni terénu, na stožárech ani na okolních objektech. Blízká soustava se používá pro dosažení charakteristického světelného účinku, který nelze vytvořit soustavou vzdálenou. Může jít například o siluetový efekt, o výraznou jasovou kresbu, či o zvýraznění struktury osvětlovaného povrchu apod. V situaci, kdy jsou svítidla osvětlující objekt umístěna na jeho plášti nebo v těsné blízkosti, je úhel mezi optickou osou svítidla a osvětlovaným povrchem relativně malý a světlo dopadá na povrch ve směru tečny. Díky tomu je ve směru optické osy svítidla velmi obtížné dosáhnout dostatečně rovnoměrného osvětlení. Zmíněný dopad světla na osvětlovaný povrch zvýrazňuje strukturu povrchu a jeho nerovnosti. [7]

8.4.3. Prvky osvětlovací soustavy

Světelné zdroje

Pro architektonické a dekorační osvětlení se používá široká řada typů světelných zdrojů. Velmi důležitým parametrem při jejich výběru jsou spektrální vlastnosti, které významně ovlivňují vizuální vjem a působení osvětleného objektu. Volbou světelného zdroje s nevhodným spektrálním složením vyzařovaného světla může dojít k výraznému narušení noční atmosféry. Z pohledu energetické náročnosti se světelné zdroje posuzují měrným výkonem. Z pohledu provozu a provozních nákladů je důležitým parametrem jejich životnost.



Obr. 8.10: Svítidla pro architektonické osvětlení; a) kruhový světlomet, b) lineární svítidlo, c) zemní svítidlo

Svítidla

Mezi nejpoužívanější svítidla pro architektonické osvětlení patří směrová svítidla. Při výběru svítidel je jedním z nejdůležitějších světelnotechnických parametrů tvar křivky svítivosti svítidla, který určuje, jak je světlo světelného zdroje ze svítidla vyzářeno. Pokud se pro konkrétní aplikaci zvolí svítidlo s nevhodnou křivkou svítivosti, může být podstatná část světelného toku vyzářena mimo osvětlovaný objekt. Tím se nejen snižuje účinnost osvětlovací soustavy, ale také dochází k negativním účinkům osvětlovací soustavy na okolní prostředí (rušivé světlo). Z pohledu energetické náročnosti svítidel je důležitým parametrem jejich účinnost. [7]

Hlavními představiteli směrových svítidel používaných pro architektonické osvětlení jsou světlomety, což jsou směrovatelná svítidla, přizpůsobená pro upevnění na nosné konstrukce (např. stožáry, konzole apod.) a pro natáčení do libovolného směru.

Podle tvaru výstupního otvoru se světlomety dělí na světlomety s kruhovým otvorem a světlomety s obdélníkovým výstupním otvorem.

Podle šířky světelného svazku se pak dělí na úzkouhlé a širokouhlé.

Šířka světelného svazku se udává podle úhlu poloviční svítivosti, což je úhel mezi směrem, kde má svítidlo maximální svítivost a směrem, ve kterém má poloviční svítivost.

Světlomety lze doplnit řadou příslušenství pro omezení oslnění (clonící klapky, lamelové a kruhové clony, boční clony atd.), k úpravě křivky svítivosti (refraktry, difúzní skla) a k úpravě spektrálních vlastností vyzařovaného světla (barevné nebo konverzní filtry), k upevnění světlometů (konzole, příruby apod.).

Dalším poměrně rozšířeným typem svítidel pro architektonické osvětlení jsou svítidla zemní. Tato svítidla se instalují do terénu nebo komunikace v blízké vzdálenosti od osvětlovaného objektu. Pro osvětlení dlouhých vertikálních ploch a lineárních prvků na fasádách objektů se používají lineární svítidla pro lineární zářivky, xenonové žárovky nebo světelné diody. Tato svítidla mají zpravidla vějířový tvar křivky svítivosti, která umožňuje účinné využití světelného toku svítidla. Pro osvětlení vodních prvků (kašny, fontány apod.) se používají zápuštná svítidla nebo malé světlomety s vysokým krytím IP68, která jsou přímo certifikovaná pro toto specifické použití. Pro osvětlení kašen lze využít také systém optických kabelů. Výhodou tohoto systému je bezpečnost, protože veškerá elektrická zařízení a rozvody jsou umístěny mimo vodní prvek. [7]

Ovládací prvky

Ovládání architektonického osvětlení závisí na jeho složitosti a charakteru. Nejednodušší architektonické osvětlení s jedním provozním režimem lze ovládat ručně nebo pomocí časových hodin. Nejpohodlnější ovládací systém tvoří kombinace soumrakového čidla a časových hodin, kdy zapnutí osvětlovací soustavy zajišťuje soumrakový spínač a vypnutí časové hodiny. Tento systém zajišťuje nejen pohodlné zapínání a vypínání osvětlovací soustavy, ale také její účinný provoz. Pokud má architektonické osvětlení více režimů, pak lze použít pro zapínání astronomické hodiny, ve kterých jsou pro jednotlivé dny v rámci celého roku definovány režimy architektonického osvětlení. V případě, že má architektonické

osvětlení dynamický charakter, při kterém dochází ke změnám barev nebo intenzity osvětlení, je třeba použít složitější řídicí systém. V současné době se regulace jednotlivých svítidel neprovádí přímo změnou napájecího napětí, ale svítidla se regulují prostřednictvím stmívatelných elektronických předřadníků a samostatného řídicího signálu (0-10V, DALI, KNX). [7]

8.5. Osvětlování sportovišť

Jde o poměrně složitou problematiku, která je dána tím, že v celém návrhovém systému nejvhodnější osvětlovací soustavy musí být zohledněny požadavky hráčů při definovaném druhu sportu, požadavky rozhodčích, diváků ze všech míst pro ně určených, požadavků na TV přenosy a ostatní specifické požadavky (reklamy a podobně).

8.5.1. ČSN EN 12193 Světlo a osvětlení - osvětlování sportovišť

Osvětlováním sportovišť se zabývá norma ČN EN 12193. V této normě jsou podchycena všechna specifika osvětlování sportovišť. Zásadním rozdílem při osvětlování sportovišť je požadavek u většiny sportovišť na různé úrovně osvětlení podle druhu provozovaného sportu.

8.5.2. Srovnávací síť bodů pro výpočet a měření

Pravidla pro volbu sítě bodů u pravoúhlých sportovišť jsou obdobná jako u norm pro vnitřní a vnější pracovní prostory. Je však nutná změna uvažování srovnávací roviny. Pro výpočet vodorovné osvětlenosti se uvažuje (pokud pro daný sport není stanoveno jinak) úroveň povrchu sportoviště. To znamená, že výška výpočtových bodů nebude 850 mm, ale 0 mm.

Dále si je nutné uvědomit definování (pojmenování) osvětleností, které je stanoveno podle osvětlované plochy, a nikoliv podle vektorů osvětlení. Svislá osvětlenost (tedy vektor osvětlenosti kolmý na vektor osvětlenosti vodorovný) je vektor osvětlenosti rovnoběžný s hrací plochou. Svislá osvětlenost se zpravidla počítá (měří) ve výšce 1000 mm nad hrací plochou.

8.5.3. Rozmístění výpočetních bodů pro víceúčelová sportoviště

Vzhledem k tomu, že většina sportovišť není pouze jednoúčelová, ale na jedné ploše se provozuje více druhů sportů, je třeba uvažovat (kromě specifických požadavků na jednotlivé sporty) i různé požadavky na rozmístění bodů. Proto je nutné, aby každé z mnoha vyznačených sportovišť odpovídalo svými parametry nejen pro zvolenou síť bodů v rámci celé plochy sportoviště, ale i pro normou předepsaný počet bodů na srovnávací ploše pro daný sport. Pro sportoviště, kde je uvažováno s třídou osvětlení I (ligová utkání a výše), eventuálně s třídou I s požadavky na přenos barevné televize pro sport, jehož plocha je výrazně menší než celková plocha sportoviště, může nastat problém s tím, že zbytek plochy sportoviště bude vykazovat výrazně nižší hodnoty osvětleností. Z tohoto důvodu jsou i regulace u některých sportů, co se týče osvětlované plochy (ale také co se týče požadavků na intenzitu osvětlení), přísnější. To znamená, že při osvětlení sportoviště, u kterého působí prvoligové kluby a je předpoklad mezinárodních utkání, musí pro-

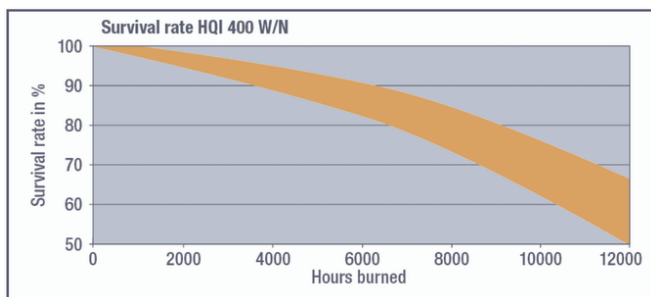
jektant získat regule pro daný sport a uvažovat s nimi, pokud jsou přísnější než norma.

8.5.4. Udržovací činitel

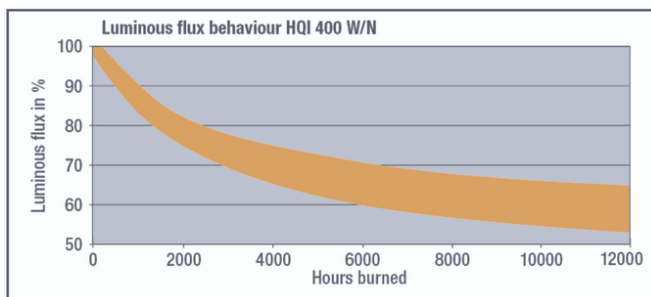
Plánování údržby je nezbytné, mají-li být zachovány původní navrhované parametry během životnosti osvětlovací soustavy. Z toho důvodu se očekává, že intervaly výměny světelných zdrojů a čištění budou představovat součást návrhu osvětlení pro danou plochu. Udržovací činitel má být odsouhlasen mezi projektantem a zákazníkem hned na počátku. Ten má obsahovat plánovaný program údržby, na kterém je činitel údržby založen. Celkový udržovací činitel lze pro jednotlivá sportoviště upravit dle doporučení a výpočetních postupů uvedených v normách pro osvětlení vnějších i vnitřních pracovních prostor.

Halogenidová výbojka OSRAM HQI-T 400/N

Z níže uvedených grafů počtu funkčních světelných zdrojů a úbytku světelného toku v závislosti na čase pro výbojku OSRAM HQI-T 400/N lze odečíst činitel stárnutí světelných zdrojů (Z_z) a činitel funkční spolehlivosti světelných zdrojů (Z_{fz}). Tab. 8.6 vychází ze středních hodnot odečtených z výše uvedených závislostí a ukazuje na velikost udržovacího činitele (zanedbán činitel znečištění svítidel a činitel znečištění ploch osvětlovaného prostoru) v závislosti na výměně (skupinové výměně) světelných zdrojů osvětlovací soustavy.



Obr. 8.11: Závislost počtu funkčních halogenidových výbojek OSRAM HQI-T na počtu odsvícených hodin [11]



Obr. 8.12: Závislost velikosti světelného toku halogenidových výbojek OSRAM HQI-T na počtu odsvícených hodin [11]

Počet odsvícených hodin – interval výměny svě- telných zdrojů (h)	1 000	1 500	2 000	4 000	6 000	8 000	10 000	12 000
činitel funkční spolehli- vosti světelných zdrojů Z_{fz}	0,98	0,97	0,96	0,92	0,86	0,8	0,7	0,6
činitel stárnutí světelných zdrojů Z_z	0,87	0,83	0,78	0,7	0,65	0,62	0,6	0,58
udržovací činitel $Z = Z_{fz} * Z_z$	0,85	0,8	0,75	0,64	0,56	0,5	0,42	0,35

Tab. 8.6: Hodnoty udržovacích činitelů svítidel osazených halogenidovými výbojkami OSRAM HQI-T 400/N

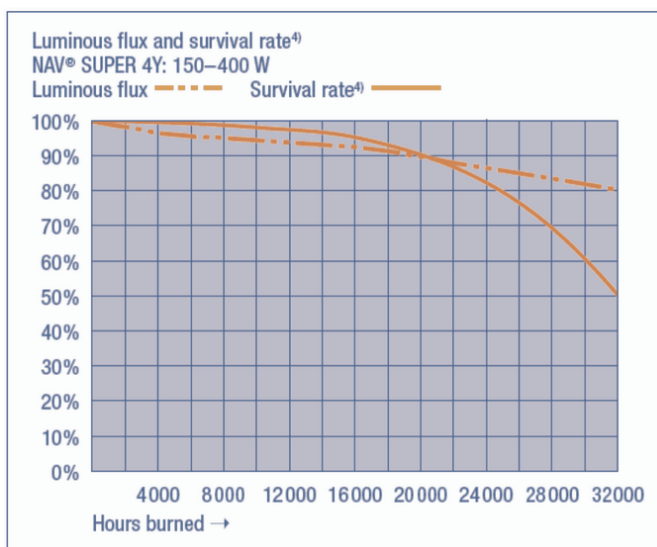
Při hodnotě celkového udržovacího činitele 0,8 je nutné u halogenidových výbojek doporučit čištění svítidel a plošnou výměnu světelných zdrojů v intervalu, který se pohybuje do 1500 h (dle typu svítidel a čistoty prostředí). Z hlediska praxe je tento interval zcela nereálný a pohybuje se v oblasti utopie. Na základě praktických zkušeností se lze dostat do zcela standardní situace, kdy probíhá plošná výměna po výpadku cca 40-ti % světelných zdrojů ($Z_{fz} = 0,6$). Před takovou výměnou je osvětlovací soustava v situaci, kdy je schopna produkovat pouze 35 % počátečního světelného toku.

Pokud dochází k individuální výměně světelných zdrojů, snižuje se výrazným způsobem rovnoměrnost osvětlení. Vedle sebe se mohou vyskytnout světelné zdroje nové (100 % světelného toku) a světelné zdroje blížící se k fyzickému konci svého života (50 % světelného toku). K těmto situacím dochází zejména u více-
stupňových osvětlovacích soustav, ve kterých mají různé světelné zdroje osvětlovací soustavy odsvíceno různý počet hodin.

Vysokotlaká sodíková výbojka OSRAM NAV-T 400 SUPER 4Y

Vysokotlaké sodíkové výbojky jsou do tohoto srovnání zahrnuty z toho důvodu, že pro většinu sportů na tréninkové úrovni (dle ČSN EN 12 193 – Třída osvětlení III) je akceptován minimální index podání barev 20, což tyto světelné zdroje s indexem podání barev vyšším než 25 bohatě splňují.

Z grafů závislosti počtu funkčních vysokotlakých sodíkových výbojek a velikosti světelného toku na počtu odsvícených hodin pro výbojku OSRAM NAV-T 400 SUPER 4Y (obr. 8.13) je opět proveden odečet udržovacích činitelů závislých na stárnutí světelných zdrojů (Z_z) a funkční spolehlivosti světelných zdrojů (Z_{fz}). Tento odečet je uveden v níže uvedené tabulce (tab. 8.7). Z této tabulky vyplývá, že interval výměny světelných zdrojů u svítidel osazených vysokotlakými sodíkovými výbojkami, pro celkový udržovací činitel $Z = 0,8$, se může blížit až k hranici 20000 h při pravidelném čištění svítidel a světelných zdrojů.



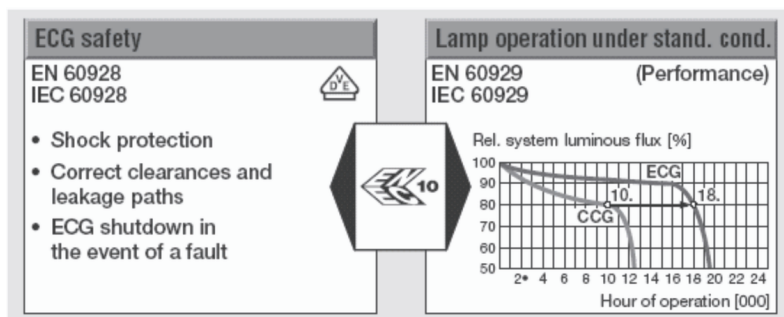
Obr. 8.13: Závislost počtu funkčních vysokotlakých sodíkových výbojek OSRAM NAV-T 400 SUPER 4Y a závislost velikosti světelného toku na počtu odsvícených hodin [12]

Počet odsvícených hodin – interval výměny světelných zdrojů	2 000	4 000	6 000	8 000	12 000	16 000	20 000	24 000	28 000	32 000
činitel funkční spolehlivosti světelných zdrojů z_{fz}	0,99	0,98	0,98	0,98	0,97	0,95	0,9	0,83	0,7	0,5
činitel stárnutí světelných zdrojů z_z	0,98	0,97	0,96	0,95	0,94	0,93	0,9	0,86	0,84	0,8
udržovací činitel $z = z_{fz} \cdot z_z$	0,97	0,95	0,94	0,93	0,91	0,88	0,81	0,71	0,58	0,4

Tab. 8.7: Hodnoty udržovacích činitelů svítidel osazených vysokotlakými sodíkovými výbojkami OSRAM NAV-T 400 SUPER 4Y

Lineární zářivka T8 OSRAM L 58 W/830

Pro další velmi rychlé srovnání je také vhodné uvést chování standardních 26 mm zářivek. V níže uvedeném grafu lze odečíst závislost relativního světelného toku osvětlovací soustavy s konvenčními předřadníky a s předřadníky OSRAM QUICKTRONIC PROFESSIONAL. I tyto závislosti byly získány za definovaných podmínek vypínání světelných zdrojů v rámci doby jejich provozu.



Obr. 8.14: Závislost relativního světelného toku osvětlovací soustavy s konvenčními předřadníky a s předřadníky OSRAM QUICKTRONIC PROFESSIONAL pro lineární zářivky OSRAM T8 na počtu odsvícených hodin [14]

Z grafu je jasné patrné, že udržovací činitel u zářivek silně závisí na volbě typu předřadného přístroje. Pro celkový udržovací činitel $z = 0,8$ se interval výměny světelných zdrojů při provozu na konvenčních předřadnicích může blížit k max. 10000 h, zatímco při provozu na elektronických předřadnicích se interval výměny světelných zdrojů může blížit až k 18000 h. Opět je nutné připomenout nutnost pravidelného čištění svítidel a světelných zdrojů.

Celkové srovnání posuzovaných světelných zdrojů

Protože úbytek světelného toku a životnost světelných zdrojů (interval výměny světelných zdrojů) jsou pouze některé parametry, které by měly vstupovat do rozhodování o volbě typu světelného zdroje pro konkrétní osvětlovací soustavu osvětlující sportoviště (nejen sportoviště), je vhodné uvést základní orientační tabulku (tab. 8.8), která by mohla dát určitou představu pro další postup při volbě světelného zdroje. Na základě výše uvedených možností proměnlivosti udržovacího činitele, v závislosti na periodě výměn světelných zdrojů a volbě světelných zdrojů samotných, je nutné tomuto tématu věnovat vysokou pozornost už ve fázi příprav návrhu osvětlovacích soustav sportovišť. Diskuze musí probíhat nejen mezi projektantem a investorem, ale také mezi provozovatelem, protože ve většině případů není investor a provozovatel stejný a jejich zájmy tedy nemusí být zcela identické.

Popis světelného zdroje	halogenidová výbojka (provozovaná na sodíkovém předřadníku)	vysokotlaká sodíková výbojka	lineární zářivka (provozovaná na elektronickém předřadníku)
typ	OSRAM HQI-T 400/N	OSRAM NAV-T 400 SUPER 4Y	OSRAM L 58 W/830
orientační příkon svítidla	460 W	450 W	55 W
světelný tok světelného zdroje	42 000 lm	55 500 lm	5 200 lm (s CCG)

měrný výkon	91 lm·W ⁻¹	123 lm·W ⁻¹	94,5 lm·W ⁻¹
počet světelných zdrojů na 100 klm	2,38 ks	1,8 ks	19,2 ks
náhradní teplota chromatičnosti	3 500 K	2 000 K	3 000 K
Index podání barev	65	25	80
doba dosažení udržovacího činitele 0,8 složeného z činitele stárnutí světelných zdrojů (z _z) a činitele funkční spolehlivosti světelných zdrojů (Z _{fz})	cca 1 500 h	cca 20 000 h	cca 18 000 h
<p>Poznámka k halogenidové výbojce OSRAM HQI-T 400/N díky indexu podání barev nelze použít ve školních tělocvičnách (nutno použít halogenidové výbojky s Ra vyšším než 80 díky indexu podání barev není vhodné pro TV přenosy Poznámka k vysokotlaké sodíkové výbojce OSRAM NAV-T 400 SUPER 4Y díky nízkému indexu podání barev je u většiny sportů vhodná pouze pro tréninkové účely velký rozdíl náhradní teploty chromatičnosti od teploty chromatičnosti denního světla nízký index podání barev není vhodný pro použití u multifunkčních sportovišť – špatně rozeznatelné různobarevné značení hracích ploch Poznámka k lineární zářivce OSRAM L 58 W/830 výrazně vyšší počet světelných zdrojů na jednotku světelného toku ve srovnání se 400 W výbojkami</p>			

Tab. 8.8: Srovnání základních parametrů 3 typů světelných zdrojů

8.5.5. Bezpečnostní osvětlení

Tato nenápadná kapitola je schopna vytvořit obrovské problémy a to u sportovišť určených pro dynamické sporty, které nejde okamžitě přerušit. Účelem bezpečnostního osvětlení je okamžité zajištění osvětlení na dokončení činnosti po výpadku hlavního osvětlení. U většiny těchto sportů jde požadavek bezpečnostního osvětlení ruku v ruce s velkými osvětlovacími vzdálenostmi (sjezdové lyžování, dráhová cyklistika). To znamená, že je nutné dosáhnout poměrně velkého světelného výkonu při výpadku napájecího napětí a to okamžitě, aby bylo možno bezpečně ukončit provozovaný druh sportu.

8.5.6. Omezení oslnění

Pro vnitřní prostory je uvažováno s výpočty UGR. To znamená, že hodnoty pro výpočet oslnění by při vodorovných směrech pohledů měly odpovídat požadovaným hodnotám oslnění při výpočtech standardního umělého osvětlení. Pro venkovní prostory se používá hodnot pro omezení oslnění GR.

8.5.7. Všeobecné požadavky na osvětlení sportovišť

- a) Veškeré osvětlenosti se týkají hlavní plochy. Pro celkovou plochu platí, že osvětlenost na této ploše musí být min. 75 % osvětlenosti hlavní plochy. Z tohoto důvodu je vhodné počítat veškeré plochy pro celkovou plochu. Důvod je jednoznačný. Téměř každá osvětlovací soustava má na krajích nižší intenzitu osvětlenosti, protože nedochází k příspěvkům ze všech stran.
- b) Poznámka týkající se víceúčelových sportovišť s převažující třídou osvětlenosti III. Pokud je osvětlovací soustava osazena vysokotlakými sodíkovými výbojkami, může docházet ke splývání čar vymežujících jednotlivá hřiště.
- c) Pro dobré prostorové vnímání sportovců požaduje norma minimální svislou osvětlenost. Ta je vyčíslena 30 % úrovně vodorovné osvětlenosti. Tato složka se posuzuje součtem svislých složek $x+$, $x-$, $y+$, $y-$ ve směrech jejich příspěvků do výpočtového bodu. Některé výpočetní programy samozřejmě umožňují pracovat s válcovou osvětleností, která ovšem neumožní posouzení příspěvků z jednotlivých stran.

Volba třídy osvětlení (viz tab. 8.9) dává dostatečný návod na zatřídění úrovně jednotlivých sportů, vyjma požadavků na osvětlení pro přenosy barevné televize. Na základě tohoto rozčlenění jsou stanoveny minimální požadavky na osvětlení pro jednotlivé typy sportů.

Úroveň soutěže	Třída osvětlení		
	I	II	III
Mezinárodní a národní	*		
Krajská	*	*	
Místní	*	*	*
Nácvik		*	*
Pohybová rekreace, školní sporty (tělesná výchova)			*

Tab. 8.9: Volba tříd osvětlení

8.5.8. Zvláštní požadavky pro barevnou televizi

Zvláštní požadavky jsou dány požadavky kamer na vysoké osvětlenosti ve směru jejich snímání (kamerová osvětlenost). Norma rozděluje požadavky na intenzitu osvětlenosti podle druhu (rychlosti sportu) a podle maximální vzdálenosti snímání. Velmi důležitou veličinou, u které mohou nastat největší problémy při návrhu osvětlení je rovnoměrnost na svislých rovinách v jednom bodu sítě. Tato vyplývá z požadavku na kvalitní prostorové vnímání z pohledu hráče. Požaduje se, aby podíl minimální svislé osvětlenosti a maximální svislé osvětlenosti v jednom bodě byl větší nebo roven hodnotě 0,3. To znamená, že pro udržení tohoto požadavku musí svítidla do každého měřicího bodu přispívat svislou složkou ze všech čtyřech stran, což je zejména na krajích sportovišť velmi těžko dosažitelná hodnota. Na tuto veličinu se velmi často zapomíná i v nově budovaných sportovištích.

8.5.9. Tabulky požadavků na jednotlivé druhy sportů

V tabulkách „Přílohy A“ normy pro osvětlování sportovišť (příklad viz tab. 8.10) se v jednom sloupci vyskytují požadavky na index podání barev. Fakticky se vyskytují pouze dvě úrovně 20 a 60. Index podání barev 80 je požadován pouze pro box, kulečnick (snooker) a TV přenosy. S nízkým indexem podání barev, v tabulkách přílohy A, jde ruku v ruce nízká osvětlenost. To znamená, že pokud pro index podání barev 20 lze zvolit vysokotlaké sodíkové výbojky (vysoká životnost, vysoký měrný výkon), je volba světelného zdroje jasná. Subjektivní pocity sportovců však ukazují, že je vhodné při použití těchto světelných zdrojů osvětlovat na vyšší osvětlenosti, čímž se lze dostat na příkonové parametry svítidel s halogenidovými výbojkami, při osvětlenostech na minimálních požadovaných úrovních. Pro index podání barev vyšší než 60 samozřejmě vyhovuje většina standardních světelných zdrojů (halogenidové výbojky, zářivky, atd.).

Venku		Srovnávací plocha		Počet bodů sítě	
		délka (m)	šířka (m)	délka	šířka
Tennis PA:		36	18	15	7
Třída	Vodorovná osvětlenost		GR	R _a	
	E _m (lx)	E _{min} /E _m			
I	500	0,7	50	60	
II	300	0,7	50	60	
III	200	0,6	50	20	

Tab. 8.10: Příklad požadavků na osvětlení různých tříd jednoho typu sportu (tenis venku)

8.6. Rušivé světlo

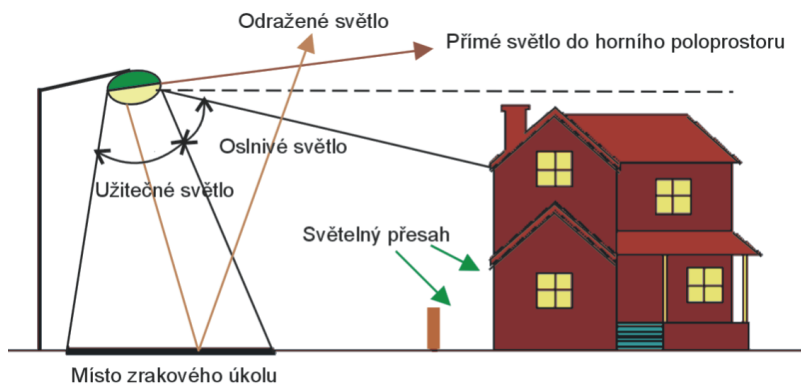
Z hlediska důsledků rušivého světla na proces vidění a vlivů na životní podmínky můžeme rozdělit projevy rušivého světla dle obr. 8.15 na: závojevý jas oblohy; oslnivé světlo; světelný přesah; podíl horního světla ULR.

Rušivé světlo reprezentuje celkový souhrn nepříznivých vlivů umělého venkovního osvětlení. Rušivé světlo obecně definujeme jako nadměrné světlo produkované umělými světelnými zdroji šířící se ve venkovním prostoru, které je nežádoucí.

Oslnivé světlo – oslnění

Dalším projevem rušivého světla je oslnění. Abychom rozlišili předměty v zorném poli, je nutné, aby tyto předměty měly různé jasy a tím aby vynikla jejich prostorová kompozice a jejich struktura. Rozhraní se může vytvořit na styku ploch různých jasů.

Jestliže je kontrast jasu či jas samotný větší, než na jaký je zrakový orgán adaptován, může vzniknout nepříznivý stav zraku – oslnění. Příčinou oslnění může být předimenzované nebo špatně nasměrované svítidlo. Oslnění ruší zrakovou pohodu, zhoršuje nebo dokonce znemožňuje vidění, zvyšuje celkovou únavu, může být příčinou úrazu a v krajním případě může poškodit vážně zrakový orgán.



Obr. 8.15: Vznik různých forem rušivého světla ve venkovním prostředí [6]

Světelný přesah

Světelným přesahem se rozumí nežádoucí světlo distribuované za své funkční hranice, tzn. do prostor jemu neurčených. Příkladem je světlo ze svítidel veřejného osvětlení dopadající do příbytků nebo světlo osvětlující i sousední pozemky. Takové světlo může narušovat soukromí obyvatel. Světelný přesah se projevuje zvýšenou vertikální osvětleností (E_v) svislých ploch. Světelný přesah jednoznačně zvyšuje energetické ztráty, protože se svítí tam, kde se svítit nemusí a ani nemá.

Závojevý jas oblohy

Závojevý jas oblohy je způsoben světelným tokem vyzařovaným primárně z umělých světelných zdrojů, tzn. nejen svítidel venkovního osvětlení, ale i sekundárně odrazem od povrchů, na nichž dochází k odrazu světelného toku. Světelný tok se pak šíří atmosférou.

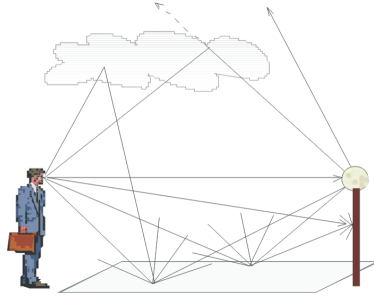
Vlastnosti ovlivňující prostupnost světelného záření atmosférou jsou dány chemickým složením atmosféry, jako jsou vodní páry, prachové částice a aerosoly tvořící bariéru prostupujícímu světlu. Každá taková mikročástice světelný tok částečně odrazí, částečně pohltí a částečně projde jejím povrchem (vodní pára). Pro celkový světelný tok, viz kap. 2, platí :

$$\Phi = \Phi_{\rho} + \Phi_{\alpha} + \Phi_{\tau} \quad (8.5)$$

kde Φ - celkový světelný tok (lm); Φ_{ρ} - odražený světelný tok (lm); Φ_{α} - pohlcený světelný tok (lm); Φ_{τ} - propuštěný světelný tok (lm).

Důležitá je zejména odražená složka světelného toku, která se zpět vrací směrem k pozorovateli nebo opět naráží na zmíněné bariéry a je opět rozptylována, pohlcována a propouštěna. Výsledkem je interakce světla a prostředí projevující se vznikem tzv. závojevého jasu - obr. 8.16. Díky zvýšení jasu oblohy klesá kontrast mezi jasy objektů na obloze a jasem oblohy, který zvyšuje adaptační úroveň

zrakového orgánu. To snižuje pozorovatelnost objektů za touto interakcí, které jsou zájmem např. astronomického pozorování. Závojevý jas oblohy se pak se svým významem v astronomické praxi stává hlavním tématem rušivého světla.



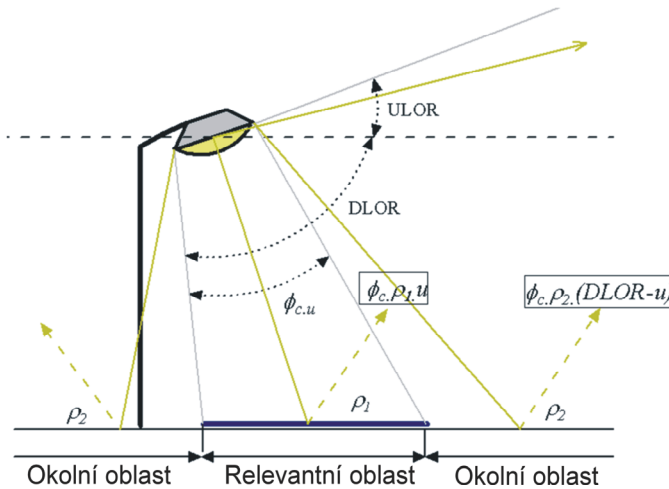
Obr. 8.16: Rozptyl světla na částicích a vznik závojevého jasu [6]

Podíl světla do horního poloprostoru - ULR

Celkový světelný tok, který se šíří do horního poloprostoru a zvyšuje tak závojevý jas oblohy, je tvořen přímou složkou a složkou odraženou od terénu a objektů v okolí.

$$ULR = \frac{ULOR}{ULOR + DLOR} \quad (8.6)$$

kde: ULR - celkový světelný tok vyzařovaný do horního poloprostoru;
 ULOR - světelný tok vyzařovaný přímo ze svítidla do horního poloprostoru;
 DLOR - světelný tok odražený od povrchů okolních oblastí.



Obr. 8.17: Přímá a odražená složka světelného toku [5]

8.6.1. Normativní požadavky na rušivé světlo

V normě ČSN EN 12464-2 a ČSN EN 12193 jsou uvedeny mezní hodnoty rušivého světla pro ochranu a zlepšení nočního prostředí. Limity rušivého světla jsou rozděleny na limity rušivého světla ve venkovních osvětlovacích soustavách k minimalizaci problémů pro osoby, floru a faunu - tab. 8.11 a limity rušivého světla pro uživatele cest - tab. 8.12.

S ohledem na velikost rušivého světla v závislosti na velikosti aglomerace a atmosférických podmínkách můžeme rušivé světlo zařadit do několika skupin podle normy ČSN EN 12464-2:

- E1 představuje skutečně tmavé prostory jako národní parky a chráněná území,
- E2 představuje oblasti s velmi malým jasnem jako průmyslové a obytné venkovské zóny,
- E3 představuje středně světlé oblasti jako průmyslová a obytná předměstí,
- E4 představuje velmi světlé oblasti jako městská centra a obchodní zóny.

Ve větších zkoumaných oblastech se mohou vyskytovat různé zóny vedle sebe. Pokud je tomu tak, neměly by přecházet environmentální zóny víc, jak o jeden stupeň. Rovněž hranice mezi zónami nejsou skokové, nýbrž postupné.

Zóna (charakteristika) prostředí	Světlo na objektech		Svítilivost svítidla		Světlo nahoru	Jas	
	E_v (lx)		I (cd)		ULR (%)	L_b (cd·m ⁻²)	L_s (cd·m ⁻²)
	mimo noční klid ^{a)}	v době nočního klidu	mimo noční klid	v době nočního klidu		fasády budov	značky
E1	2	0	2500	0	0	0	50
E2	5	1	7500	500	5	5	400
E3	10	2	10000	1000	15	10	800
E4	25	5	25000	2500	25	25	1 000
Kde E_v - největší hodnota svislé (vertikální) osvětlenosti na objektech (lx); I - svítivost každého světelného zdroje v potenciálně rušivém směru (cd); ULR - podíl (poměrná část) světelného toku svítidla (svítidel) vyzařovaného nad horizont v jeho (jejich) pracovní poloze a umístění (%); L_b - největší průměrný jas fasády budov (cd·m ⁻²); L_s - největší průměrný jas značek (cd·m ⁻²).							
^{a)} V případě, kdy se neuplatňuje noční omezení, větší hodnoty nesmí být překročeny a menším hodnotám se má dát přednost.							

Tab. 8.11: Limitní hodnoty světelnětechnických veličin ve venkovním osvětlení [1]

Světelnětechnické parametry	Třída osvětlení pozemní komunikace ^{a)}			
	osvětlení jiné než uliční	ME5	ME4 / ME3	ME2 / ME1
Prahový přírůstek (TI) ^{b) c) d)}	15% za předpokladu, že adaptační jas je $0,1 \text{ cd}\cdot\text{m}^{-2}$	15% za předpokladu, že adaptační jas je $1 \text{ cd}\cdot\text{m}^{-2}$	15% za předpokladu, že adaptační jas je $2 \text{ cd}\cdot\text{m}^{-2}$	15% za předpokladu, že adaptační jas je $5 \text{ cd}\cdot\text{m}^{-2}$
^{a)} Třídy osvětlení podle EN 13201-2 ^{b)} výpočet TI podle EN 13201-3. ^{c)} Tyto limity se použijí v případě, že uživatelé dopravního systému jsou vystaveni omezení viditelnosti základních informací. Hodnoty platí pro relevantní polohu a pro směr pohledu na trasu dopravy. ^{d)} V tabulce 5.2 CIE 150:2003 jsou uvedeny příslušné hodnoty závojevého jasu Lv.				

Tab. 8.12: Největší hodnoty prahového přírůstku od jiných svítidel než svítidel ve veřejném osvětlení [1]

8.6.2. Environmentální zóny

Mezinárodní komise pro osvětlování vytvořila Směrnici pro minimalizaci jasu oblohy CIE 126-1997 (Guidelines for minimizing sky glow), která vznikla ve spolupráci s Mezinárodní astronomickou unií (International astronomical union, IAU) a za spoluúčasti Mezinárodní společnosti pro temné nebe (International dark-sky association). Tato směrnice je technickou zprávou, která se zabývá teoretickými aspekty jasu oblohy, v níž jsou zformovány všeobecné zásady pro omezení velikosti tohoto jasu. Jsou zde uvedeny limitní hodnoty podílu světelného toku svítidel do horního poloprostoru pro jednotlivé kategorie zón prostředí z hlediska potřeb astronomických pozorování. Zóny E1 - E4 jsou uvedeny v tab. 8.13. Uvedené mezní hodnoty platí pro každé jednotlivé svítidlo v zóně.

Zóna	Podíl světelného toku svítidel do horního poloprostoru (%)
E1	0
E2	≤ 5
E3	≤ 15
E4	≤ 25

Tab. 8.13: Největší povolený podíl světelného toku svítidel vyzařovaného do horního poloprostoru [6]

Hranice zón	Minimální délka hranice (km)
E1-E2	1
E2-E3	10
E3-E4	100

Tab. 8.14: Minimální délky mezi zónami vztažené k referenčnímu bodu v zóně E1 [6]

8.6.3. Zdroje rušivého světla

Osvětlení pozemních komunikací

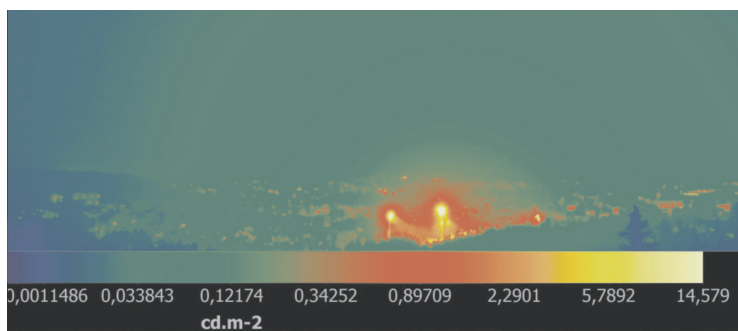
Osvětlení pozemních komunikací zahrnuje osvětlení v městských aglomeracích (ulice, chodníky, cyklistické stezky, přechody pro chodce), osvětlení důležitých dopravních uzlů a dálkových komunikací, osvětlení dopravních terminálů (autobusových i vlakových nádraží, překladiště, přístavy apod.) a osvětlení tunelů a podjezdů. Je zřejmě nejpočetnější formou venkovního osvětlení a má tudíž velký podíl na vzniku rušivého světla.

Architektonické osvětlení

Osvětlení významných památek a budov, různých monumentů a osvětlení parků a zahrad. V této oblasti se často používají svítidla svítící do horního polo-prostoru, které mají významný podíl na závojevém jasu oblohy.

Osvětlení venkovních sportovišť

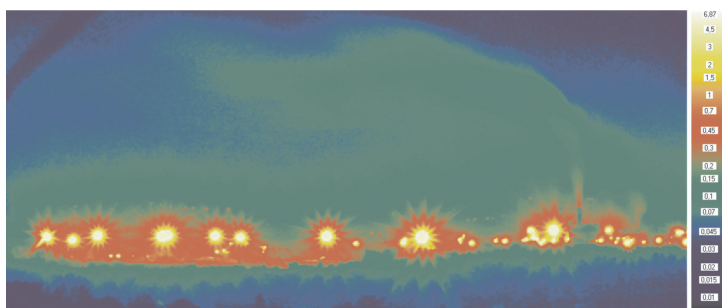
Je specifické použitím svítidel s výkonnými zdroji světla pro dostatečné osvětlení velkých ploch a prostor.



Obr. 8.18: Zvýšený jas nad stadionem

Osvětlení venkovních pracovišť

Jedná se o osvětlení velkých výrobních závodů a průmyslových zón.



Obr. 8.19: Jasová mapa průmyslové zóny a oblohy nad ní

Reklamní osvětlení

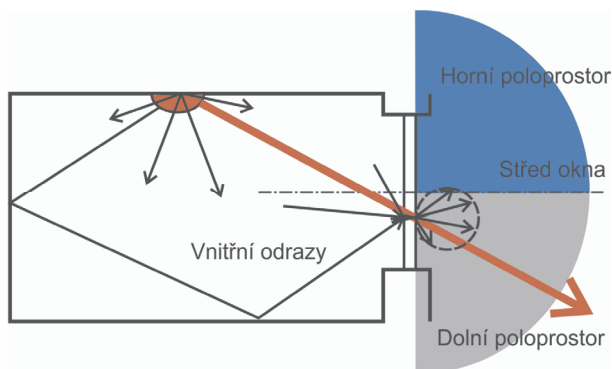
Jedná se o osvětlení billboardů, reklamních ploch, směrových ukazatelů obchodních center, osvětlení čerpacích stanic apod. Hlavním problémem bývá nepřiměřeně vysoká hladina osvětlenosti těchto ploch.



Obr. 8.20: Panoramatické pohledy z městského náměstí při různých situacích (zapnuté a vypnuté veřejné osvětlení, osvětlení fotbalového stadionu).

Osvětlení z oken domácností

Nezanedbatelným zdrojem rušivého světla jsou okna domácností. Na obr. 8.21 je znázorněn světelný tok vyzařovaný oknem do horního poloпростору. Velikost světelného toku vyzařovaného do horního poloпростору závisí na zdroji světla, jeho pozici v místnosti a na vlastnostech okna (včetně závěsů, rolet, apod.).



Obr. 8.21: Světelný tok vyzařovaný z oken domácností do horního poloпростору [4]

Osvětlení letišť

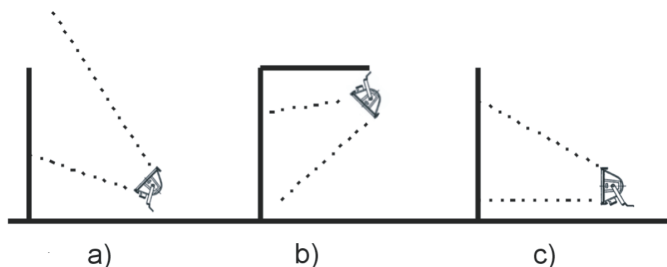
Je záměrně odděleno od pozemních komunikací, neboť jsou zde z důvodů bezpečnosti letového provozu kladeny zvýšené nároky na omezování rušivého světla, zejména oslnění. Od osvětlení pozemních komunikací se také liší tím, že svítidla mohou být přímo určena ke svícení do horního poloпростору.



Obr. 8.22: Příklad špatně navrženého osvětlení odbavovací plochy na letišti pomocí svítidel s nesymetrickou vyzařovací charakteristikou

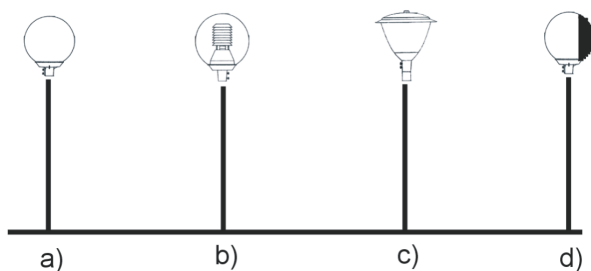
8.6.4. Doporučení pro omezení rušivého světla

Doporučuje se používat k osvětlování svislých a vodorovných ploch svítidel, která jsou nasměrována přímo dolů – obr. 8.23 případ b) nebo alespoň směřována přímo na osvětlovaný objekt c). Pokud to není technicky možné a použijeme svítidla nasměrovaná vzhůru, pak využíváme clon, které omezují neefektivně distribuovanou složku světla.



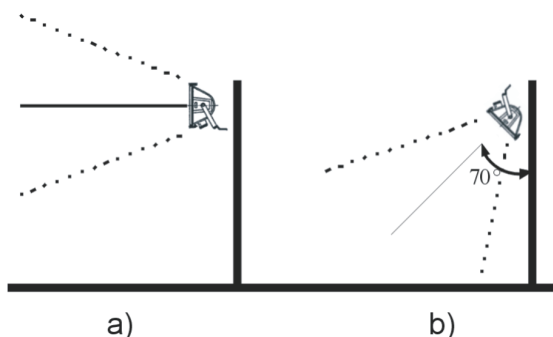
Obr. 8.23: Instalace a nasměrování svítidel [6]

Doporučuje se používat technická zařízení, která jsou schopna eliminovat složku světelného toku distribuovanou přímo do horního poloprostoru. Např. parkové svítidlo na obr. 8.24 případ a) vyzařuje přímo do horního poloprostoru 60 % světelného toku a způsobuje oslnění. Proti oslnění je svítidlo v případě b) vybaveno prstencovou clonou, vyrobenou z čistého leštěného hliníku. Pro omezení distribuce světelného toku do horního poloprostoru slouží vrchlík svítidla v případě c). Pro omezení světelného přesahu je možné svítidlo vybavit clonou, která zamezí v šíření světla v nežádoucím směru v případě d).



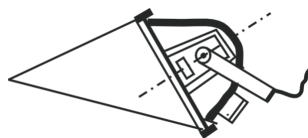
Obr. 8.24: Omezení distribuce světelného toku do horního poloprostoru technickými prostředky [6]

Pro omezení oslnění je nutné nasměrovat svítidla tak, aby hlavní paprsek žádného ze svítidel směřujících na kteréhokoli potenciálního pozorovatele neměl elevační úhel větší než 70° , jak je vidět na obr. 8.25. Je třeba si uvědomit, že čím vyšší je montážní výška, tím menší elevační úhel je postačující. Navíc při vhodném nasměrování svítidla zamezíme i světelnému přesahu.



Obr. 8.25: Velikost elevačního úhlu [6]

Používáme přednostně světlometry s asymetrickými výstupními paprsky, u kterých je možno udržet polohu krycího čelního skla rovnoběžnou s osvětlovanou plochou - obr. 8.26.



Obr. 8.26: Světlomet se speciálním směrovačem světelného toku [6]

Distribuci světelného toku do míst přesahujících za hranice osvětlované oblasti můžeme omezit použitím fyzických zábran. Bariéry mohou být přírodní (křoví, stromy) nebo umělé (ploty, zemní násypy apod.). V příbytcích je možno instalovat doplňkové opatření (rolety, žaluzie).

8.7. Literatura ke kapitole

- [1] ČSN EN 12464-2 (36 0450): Světlo a osvětlení – Osvětlení pracovních prostorů – Část 2: Venkovní pracovní prostory, Český normalizační institut, 2007
- [2] Novák T., Sokanský K., Závada P., Diviš D.: Anylysis and evaluation of Light Parameters Measuring of the Night Sky, CIE 2011
- [3] Hladký L.: Výzkum světelného znečištění v podmínkách České Republiky, teze disertační práce, VŠB TU ostrava, 2007
- [4] Sokanský K. a kol.: Racionalizace v osvětlování venkovních prostorů, ČSO RS Ostrava 2005
- [5] Sokanský K. a kol.: Snižování energetické náročnosti venkovních osvětlovacích soustav, ČSO RS Ostrava 2010
- [6] Plich, J.: Světelná technika v praxi. IN-EL spol. s.r.o., Praha 1999.
- [7] Habel, J.: Světelná technika a osvětlování. FCC Public, Praha 1995.
- [8] ČSN EN 12 193 – Světlo a osvětlení – Osvětlení sportovišť
- [9] Technical information – OSRAM – POWERSTAR HQI/HCI, POERBALL HCI
- [10] Technical information – OSRAM – VIALOX NAV (SON) HIGH-PRESURE SODIUM LAMPS, CITYLIGHT DS SODIUM XENON LAMPS
- [11] ČSN EN 12464-2: Světlo a osvětlení-Osvětlování pracovních prostorů-Část 1: Vnitřní pracovní prostory, Český normalizační institut, 2005
- [12] QUICKTRONIC – Technical guide – OSRAM

9. Měření světelnotechnických veličin

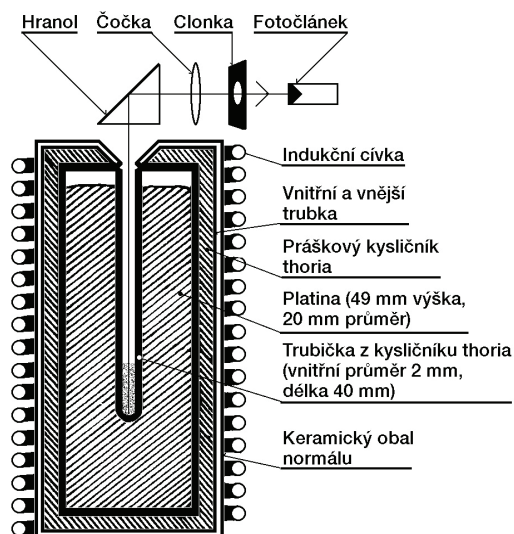
Měření je činnost, jejímž cílem je určení velikosti fyzikálních veličin a výsledkem měření je číselné vyjádření měřené veličiny se stanovenou mírou (jednotkou). Kromě velikosti měřené veličiny je vhodné určit i nejistotu jejího stanovení.[2]

Pod pojmem fotometrie se rozumí měření světelnotechnických veličin. Vlastní měření se dělí na vizuální (subjektivní – metody), při kterých se využívá vlastností lidského zraku a fyzikální (objektivní – metody), a měření probíhá s využitím fyzikálních čidel (fotočlánků). Pro měření platí normy ČSN EN 13032 Světlo a osvětlení - Měření a uvádění fotometrických údajů světelných zdrojů a svítidel (2005), ČSN 36 0011 Měření osvětlení vnitřních prostorů (2006).

9.1. Světelné normály

Základním předpokladem pro realizování fotometrických měření je soubor světelných normálů svítivosti, světelného toku, jasů, chromatičnosti a dalších.

Základním normálem fotometrické laboratoře by měl být normál svítivosti. Ten se odvozuje od normálu svítivosti na národní úrovni, ty jsou odvozeny od etalonu svítivosti v Měrovém středisku mezinárodní laboratoře ve Francii. Přitom etalon svítivosti vychází z původní definice základní jednotky 1 (cd). Praktická aplikace tohoto normálu svítivosti je zřejmá z obr. 9.1.



Obr. 9.1: Normál svítivosti

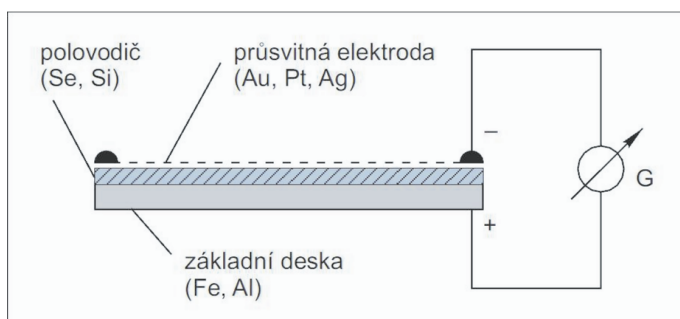
V tomto případě je 1 cd kolmá svítivost $1/60 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2$ povrchu absolutně černého tělesa při teplotě tuhnutí platiny (2 046,5 K) za tlaku 101 324,72 Pa. Vlastním zdrojem světla etalonu svítivosti je trubička z thoria, která je umístěná v kelímku s rozžhavenou platinou, a zdrojem je vysokofrekvenční proud (kelímková indukční pícka) a stav měření nastává při přechodu z fáze kapalné do fáze pevné. Byla tak nahrazena, v Evropě dlouho používanou, HK - Hefnerovou svíčkou (vodorovná

svítivost 40 mm dlouhého plamene octanu amylnatého hořícího nad bavlněným kulatým knotem o průměru 8 mm za určitých podmínek). F. von Hefner-Altenack 1845 - 1904.

Příprava dalších normálů světelného toku, teploty chromatičnosti, jasů a dalších, je závislá na tom, jaká fotometrická měření se budou v laboratoři provádět. V současné době je všeobecně požadováno, aby fotometrická měření světelně-technických veličin, byla poměrně snadná a rychlá. Na české úrovni zajišťuje primární metrologii, včetně kalibrace a validace, Český metrologický institut – Oddělení optické radiometrie a fotometrie.

Nezbytnou součástí všech fotometrických měření jsou i kvalitní fotoelektrické články. V praxi se nejčastěji používají fotočlánky hradlové, dnes převážně křemíkové dříve také selenové. Princip uspořádání fotoelektrického článku je uveden na obr. 9.2. Po dopadu světla na povrch vznikne mezi kovovou podložkou a vrstvou polovodiče rozdíl potenciálů a uzavřeným obvodem protéká fotoelektrický proud. Měření těchto proudů musí být realizováno tak, aby vstupní hodnota R_i se blížila 0, naopak výstupní hodnota měřícího systému $R_{iv} \infty$.

Fotočlánky aplikované jednak ve fotometrické laboratoři a v řadě přístrojů, musí splňovat řadu podmínek. Tou nejdůležitější je, aby se průběh křivky spektrální citlivosti fotočlánku co nejvíce shodoval s křivkou $V(\lambda)$ spektrální citlivosti normálního fotometrického pozorovatele. Tato podmínka je zvláště důležitá při měření výbojových zdrojů nebo zdrojů s čárovým nebo kombinovaným spektrem. Spektrální průběhy citlivosti nekorigovaného Se a korigovaného fotočlánku jsou na obr. 9.3. Korekce je založena na aplikaci speciálního filtru (VISKOR a pod). Jiná situace je u Si fotočlánků, kde průběh spektrální citlivosti je jiný a korekce se provádí poměrně složitým způsobem, a to aplikací skleněných monochromatických filtrů, a musí se korigovat celá oblast viditelného záření. [1]

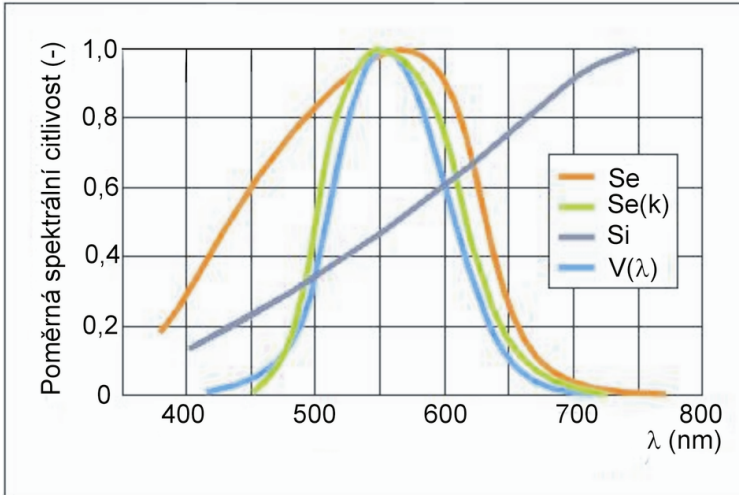


Obr. 9.2: Náčrt konstrukčního uspořádání hradlového fotoelektrického článku [1]

Jednotlivá světelně technická měření lze rozdělit do následujících typů viz tab. 9.1.

Typ měření	Odhad rozšířené nejistoty U (%)	Příklady
Přesná	$U \leq 8$	Tvorba normálů, kalibrace přístrojů, laboratorní měření
Provozní	$8 < U \leq 14$	Ověřování parametrů zdrojů, svítidel a osvětlovacích soustav
Orientační	$14 < U \leq 20$	Kontrola funkce osvětlovacího zařízení

Tab. 9.1: Rozdělení měření světelnotechnických parametrů podle jejich přesnosti [1]



Obr. 9.3: Příklady průběhů poměrné spektrální citlivosti hradlových fotočlánků v porovnání s poměrnou spektrální citlivostí $V(\lambda)$ normálního fotometrického pozorovatele při denním vidění [1]

9.2. Typy měření

Měření ve světelné technice lze rozdělit do následujících kategorií: laboratorní měření; měření vnitřní osvětlenosti; měření venkovní srovnávací osvětlenosti; měření jasu; měření jasu noční oblohy; měření jasu osvětlovacích otvorů; měření jasu ploch odrazějících světlo; měření činitele denní osvětlenosti; měření činitele odrazu a prostupu světla; měření na modelech; měření svítivosti; měření čar svítivosti; měření světelného toku a měření integrálních charakteristik světelného pole.

9.2.1. Luxmetry

Luxmetry jsou přístroje (obr. 9.4) na měření osvětlenosti (rovinné, kulové, válcové, polokulové, poloválcové aj.). Pokud není uvedeno jinak, myslí se pod pojmem luxmetr přístroj na měření rovinné osvětlenosti. Snímací úhel luxmetru pro měření rovinné osvětlenosti má být ve všech rovinách kolmý k rovině, ve které se určuje osvětlenost. Fotometrická hlava je obvykle vybavena filtrem pro přizpůsobení

ní spektrální citlivosti $V(\lambda)$ a difúzním nástavcem pro korekci směrové chyby foto-detektoru.[2]



Obr. 9.4: Luxmetr

9.2.2. Jasoměry a jasové analyzátory

Jasoměr (obr. 9.5) pracuje na stejném principu jako luxmetr, který je doplněn o optiku, která vymezuje kolmý dopad světla na čidlo luxmetru v definovaném prostorovém úhlu, ve kterém je snímán jas integrován. Měří jas reálných nebo fiktivních povrchů vyzařujících nebo odrážejících světlo. Bývá doplněn optickým systémem, který umožňuje, aby obsluha nasměrovala vlastní měřicí systém přesně na zvolené místo. [2]



Obr. 9.5: Jasoměr LS-100

Jasový analyzátor je v podstatě digitální fotoaparát, který má opticky nebo softwarově upravenou citlivost podle křivky citlivosti lidského oka $V(\lambda)$. Na rozdíl od klasického jasoměru umožňuje jasový analyzátor snímat jasové mapy s rozlišovací schopností danou prostorovým úhlem snímaným jedním pixelem (makropixelem). K navýšení dynamického rozsahu snímaných jasových map je využíváno softwaro-

vé překrývání několika identických snímků pořízených při různých expozicích. Vyhodnocení jasů se provádí pomocí software, např. Lumidisp, a je upraven tak, že lze předvolit jakýkoliv systém vlastního vyhodnocení, podle zavedených zvyklostí.

9.2.3. Spektrofotometry

Spektrofotometr je přístroj k měření spektra optického záření na principu rozkladu světla na mřížce nebo hranolu. Spektrofotometr může měřit následující hodnoty jako jsou spektrální složení dopadajícího záření, jas, osvětlenost, trichromatické souřadnice x, y, u, v, náhradní teplotu chromatičnosti, dominantní vlnovou délku, index podání barev, kolorimetrickou čistotu, na obr. 9.6 se nachází spectroradiometr Jeti specbos.



Obr. 9.6: Spectroradiometr Jeti specbos 1211

9.3. Chyby a nejistoty měření

Stejně jako při měření různých elektrických veličin, vznikají i při měření světelných veličin chyby a nejistoty měření. Celá tato problematika se zabývá přesností měření a jak hodnota naměřená měřicím přístrojem odpovídá skutečné hodnotě. Proto se měřicí přístroje vybavují označením třídy přesnosti, která udává kvalitu měření. Drahé přístroje většinou dosahují větších přesností než ty levnější. Nejistota zase určuje, v jakém rozmezí hodnot se může měřená veličina pohybovat, aby bylo dosaženo dané přesnosti měření.

Jednoduše můžeme chybu měřicího přístroje popsat jako rozdíl mezi naměřenou hodnotou a hodnotou skutečnou. Problém vzniká při stanovení přesné skutečné hodnoty. Tu můžeme dosáhnout použitím různých etalonů, které však nejsou běžně k použití. Některé etalony představují složité konstrukce s přesně danými parametry nejen samotného etalonu, ale také prostředí. Chyby můžeme rozdělit na **absolutní** a **relativní**. Absolutní chyba se vypočte podle jednoduchého vzorce

$$\Delta_x = x_m - x_s \quad (9.1)$$

kde: x_m - naměřená hodnota; x_s - skutečná hodnota.

Odpovídá to tedy popisu, který byl uveden výše. Relativní chyba se zjistí z absolutní chyby tak, že ji podělíme skutečnou hodnotou

$$\delta_x = \frac{\Delta_x}{x_s} = \frac{x_m - x_s}{x_s} \quad (9.2)$$

kde $\bar{\delta}_x$ - relativní chyba.

Pro přehlednost se takto změřená veličina násobí ještě stem a dostane se procentní vyjádření chyby.

$$\delta_x = \frac{x_m - x_s}{x_s} \cdot 100 \quad (9.3)$$

Dále se chyby mohou rozdělit podle toho, jak se vyskytují při měření. Pokud chyba při opakovaném měření zůstává stejná nebo se mění předvídatelným způsobem, označujeme takovou chybu jako **systematickou**. Pokud zjistíme důvod, jak tato chyba vzniká, můžeme ji odstranit pomocí korekcí. Systematické chyby mohou vznikat z několika příčin, například při nepřesně nastavené nule (offset), při zesílení, nebo při zjednodušování měření a zanedbání některých parametrů (chyby metody). Pokud se však chyba při opakovaných měřeních mění naprosto nepředvídatelně, označuje se jako chyba **náhodná** a nemůžeme ji odstranit pomocí korekcí, ale určíme ji na základě statistické analýzy. Důležitým pojmem pak je směrodatná odchylka, která určuje rozptyl měřených hodnot.

Dalším pojmem pro stanovení přesnosti měření je nejistota. Jak již bylo zmíněno, vyjadřuje interval hodnot okolo změřené veličiny, ve kterém můžeme uvažovat hodnotu jako správnou. Standardní nejistota se označuje malým písmenem u . Standardní nejistota může být dvou typů. Typ A představuje nejistotu, kterou získáme opakovaným měřením při stejných podmínkách, nebo pomocí statistickou analýzou naměřených hodnot. Při měření denního osvětlení však vzniká problém s opakovaným měřením při stejných podmínkách, jelikož podmínky denního osvětlení se neustále mění a neopakují se, proto se u těchto měření neurčuje typ A, ale pouze druhý typ nejistoty. Druhý typ nejistoty je typ B, u kterého se nejistota zjišťuje jinými způsoby. Z obou typů tak můžeme získat kombinovanou standardní nejistotu

$$u = \sqrt{(u_a^2 + u_b^2)} \quad (9.4)$$

kde u - standardní nejistota; u_a - nejistota typu A; u_b - nejistota typu B.

Nejistoty typu B vyhodnocují nepřesnosti měření, u kterých je známá příčina, nebo pokud je nejistota nezávislá na počtu opakovaných měření, zatímco u typu A hodnota nejistoty s rostoucím počtem měření klesá.

Pro další charakteristiku nejistoty měření se udává rozšířená standardní nejistota. Ta představuje k -násobek standardní nejistoty a označuje se velkým písmenem U .

$$U = k \cdot u \quad (9.5)$$

Určuje se, pokud chceme udat větší pravděpodobnost správného výsledku.

Při určování nejistot hraje velkou roli mnoho vlivů. I prostředí, ve kterém se měření provádí, ovlivňuje velikost nejistoty. Krom toho je měření ovlivněno použitými přístroji, filtry, zesilovači, vzorkovači, jednoduše všemi přístroji, které jsou zapojeny v okruhu měření nebo slouží k úpravě měřeného signálu. Také vyhodnocování měřených veličin vede k nejistotám. Patří mezi ně například nevhodné zaokrouhlování, linearizace, aproximace a podobně.

Standardní nejistota se zjišťuje u obou typů pomocí přímého a nepřímého měření. Při stanovení nejistoty typu A se postupuje následovně. Z několika opakovaných měření se získá n údajů a z nich se určí výběrová směrodatná odchylka výběrového rozptylu

$$u_a = s_{\bar{x}} = \sqrt{\frac{1}{n \cdot (n-1)} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2} \quad (9.6)$$

kde x - jednotlivé měřené veličiny a \bar{x} - výběrový rozptyl.

$$\bar{x} = \frac{\sum_{i=1}^n x_i}{n} \quad (9.7)$$

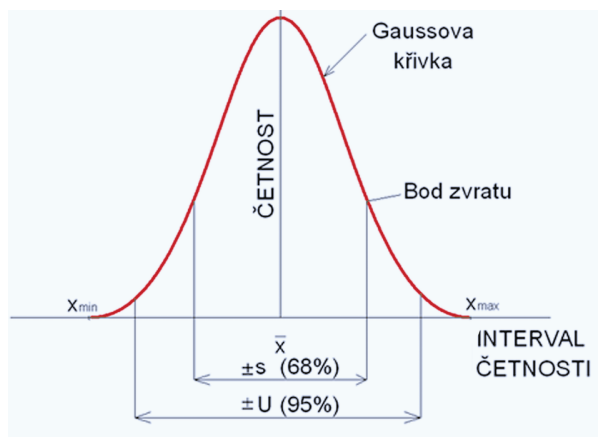
Pro kvalifikovaný odhad nejistot je třeba více než deseti měření. Pokud tato podmínka není splněna, násobí se výsledek měření koeficientem k (tab. 9.2), který je udáván pro počet měření menších než deset.

$$u_{ak} = k \cdot u_a \quad (9.8)$$

n	9	8	7	6	5	4	3	2
k	1,2	1,2	1,3	1,3	1,4	1,7	2,3	7

Tab. 9.2: Tabulka koeficientů

Při stanovování nejistot typu B se nejdříve vytipují možné zdroje nejistot z . Určí se interval možných odchylek a největší dovolená chyba (z dokumentace přístroje), která udává mez intervalu z_{\max} . Dále se určí pravděpodobnost rozdělení odchylek. Rozdělení může být více druhů, Gaussovo, rovnoměrné trojúhelníkové, bimodální a jiné (obr. 9.7).



Obr. 9.7: Rozdělení odchylek

Pomocí rozdělení odchylek se určí relativní standardní nejistota. Nejčastěji se využívá Gaussova (normálního) rozdělení viz. obr. 9.7. Směrodatná odchylka s představuje standardní nejistotu typu A viz vztah (9.6). Hodnota U je rozšířená standardní nejistota viz vztah (9.5), která odpovídá 95 % pravděpodobnosti správného výsledku. To znamená, že 95 % výsledků musí být v rozsahu nejistoty měřicího přístroje, která byla dána. Zbýlých 5 % výsledků může hranici nejistoty překročit.

$$u_b = \frac{z_{\max}}{\chi} \quad (9.9)$$

Při uvažování Gaussova rozdělení je $\chi=2$, kdy existuje malá pravděpodobnost, že hodnota z_{\max} bude překročena. Hodnota $\chi=3$ je pak uvažována, pokud z_{\max} je nepřekročitelná hodnota.

Po určení nejistot u všech možných zdrojů nejistot se určí výsledná nejistota typu B pomocí Gaussova zákona šíření chyb, jejichž výsledek se zaokrouhluje na dvě platné číslice.

$$u_b = \sqrt{\sum u_{bi}^2} \quad (9.10)$$

U některých zdrojů nejistot se nejistota někdy určuje také odhadem, který je proveden zkušeným odborníkem, který by měl nejlépe svůj odhad podložit orientačním výpočtem. V těchto případech může docházet k malým rozdílům mezi zjištěnými nejistotami, ale při odborném posudku, by měly být tyto rozdíly zanedbatelné. Vzorce pro výpočet výsledné nejistoty (9.10) se použije v případě, že jednotlivé nejistoty jsou na sebe nezávislé. Pokud však budou nejistoty na sobě závislé, musí se při výpočtu s tímto faktem počítat. Výsledná nejistota se pak zjistí podle vztahu.

$$u^2 = \sum_{i=1}^n u_i^2 + 2 \sum_{i=1, j < i}^n u_i u_j r_{i,j} \quad (9.11)$$

kde: u_i - nejistoty zjištěné ze všech možných zdrojů nejistot, u_j - hodnota nejistoty ze závislého (korelovaného) zdroje, $r_{i,j}$ - koeficient určující závislost obou veličin.

U nepřímého měření nejistot typu b je základ postupu stejný jako u přímého měření. Do kalibračního certifikátu se nakonec udává hodnota rozšířené nejistoty s výsledky měření a jakým způsobem byly tyto hodnoty zjištěny. [2],[3],[4]

9.4. Provozní měření

9.4.1. Měření denního osvětlení

Denní osvětlení je důležité především pro zachování zrakové pohody v místech, kde trávíme čas, nebo kde vykonáváme nějakou činnost. Denní osvětlení je značně dynamické a může docházet k velkým změnám v krátkých časových okamžicích. Lidské oko je na ten druh osvětlení přivyknuto a vyhovuje mu, proto při projektování se snaží projektant přivést co největší množství tohoto záření do místnosti. Při měřeních denního osvětlení musí být všechny umělé zdroje světla vypnuta, aby nedošlo ke zkreslení. Pro popis denního osvětlení je zaveden pojem činitel denního osvětlení. V budovách je osvětlení denním světlem dáno normou ČSN 730580 – Denní osvětlení budov, která udává požadované množství denního světla podle zadaných kritérií a kategorií. Tato norma také určuje podmínky, za jakých probíhá měření. Zadána je zimní obloha, která je rovnoměrně zatažená. Díky zatažené obloze nezáleží měření na světových stranách, protože sluneční záření je rovnoměrně rozptýleno.

Měření denního osvětlení probíhá pomocí dvou luxmetrů. Jeden měří osvětlení v exteriéru (E_H) a druhý v interiéru v pracovní rovině (E_m). Jejich poměrem se následně zjistí činitel denního osvětlení D .

$$D = \frac{E_m}{E_H} \cdot 100 \quad (9.12)$$

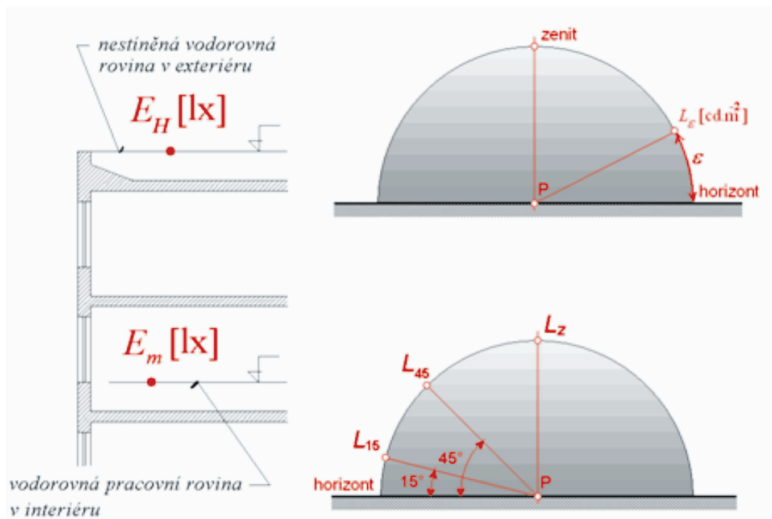
kde: D - činitel denního osvětlení (%); E_m - osvětlení pracovní roviny v interiéru (lx); E_H - osvětlení v exteriéru (lx).

Existují i přístroje na přímé měření tohoto činitele. Jedná se o přístroj vybavený dvěma čidly s dlouhými přívody, které se umístí na stejná místa jako luxmetry, při měření dvěma přístroji. Měření se provádí opakovaně, nejméně však dvojnásobně. Ze všech měření se pak určí střední hodnota.

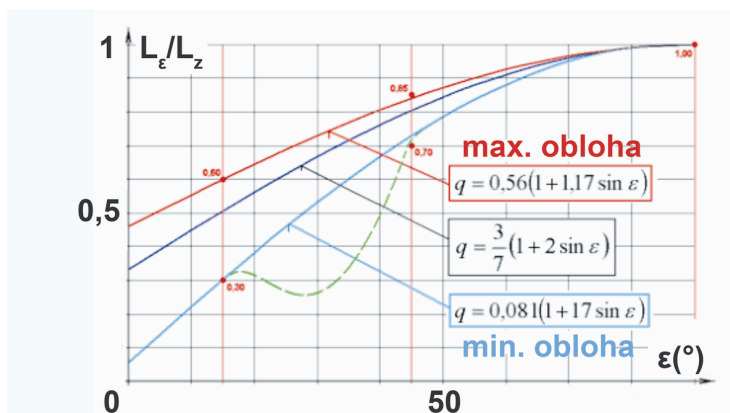
Pokud se měří dvěma luxmetry, musí mít oba stejnou spektrální citlivost $V(\lambda)$, aby se zamezilo vzniku spektrálních chyb. Při měření se také kontroluje jas oblohy. Jasoměrem se měří pod úhly 15° , 45° a 90° (zenit), a to v době těsně před měřením, nebo během měření při dlouhodobém měření. Jas v úhlu 15° by měl dosáho-

vat hodnot 0,55-0,75 jasů v úhlu 45° a jas v zenitu by se měl pohybovat v rozmezí 1,15-1,4 jasů pod úhlem 45°.

Osvětlenost v exteriéru se určuje pokud možno v místě nezastíněném zástavbou nebo terémem, například na vyvýšeném místě nebo střeše vysoké budovy. Pokud však není možné takto měření provést, měří se osvětlenost pomocí jasů oblohy ve vhodném směru. V interiéru se měří na místech daných v normě ČSN 730580-2. Měřicí síť v místnosti by měla být rozvržena tak, aby se pokryly místa s největším osvětlením i místa s nejmenšími hodnotami osvětlení. Fotočlánek musí být stabilně upevněn a měřicí přístroj umístěn tak, aby neovlivňoval činnost článku. Vnitřní i venkovní osvětlenost se pak odečítá ve stejných časových okamžicích.



Obr. 9.8: Měření denního osvětlení



Obr. 9.9: Křivky poměru jasů v závislosti na elevačním úhlu

Na obr. 9.9 jsou vyznačeny křivky závislosti poměru jasů L_ϵ/L_z na elevačním úhlu ϵ . Všechny tři jsou pro zataženou oblohu. Červená křivka představuje zataže-

nou oblohu s maximálním jasem. Světlo modrá pak s minimálním jasem a prostřední křivka reprezentuje oblohu udanou v normě. Všechny tyto křivky by však vyhověly normě ČSN 361100-2 o měření denního osvětlení. Zelená křivka by také této normě vyhověla, avšak představuje oblohu nerovnoměrně zataženou. [3]

9.4.2. Měření jasů

Metodika měření jasů je problematická z důvodu vývoje speciálních přístrojů. Jas představuje podíl svítivosti ke kolmému průmětu plochy, kterou vidíme. Nelze tedy měřit přímo hodnotu jasů, ale dá se měřit svítivost. Při měření jasů je měřená plocha považovaná za bodovou, musí se tedy měřit z velké vzdálenosti, aby tato podmínka byla splněna. Pro měření jasů tedy existují speciální přístroje. Zjednodušeně můžeme jasoměr popsat jako fotočlánek, na který je nasazen tubus s kruhovým otvorem v přední části, který vymezuje prostorový úhel. Skutečné přístroje jsou však mnohem složitější. Podle úhlu měření rozlišujeme jasoměry integrační s úhlem záběru větším než 2° a bodové s úhlem menším než 0,6°.

Při měření jasů není tak snímanou plochu možno považovat za bod, zvláště při měření z velké vzdálenosti. Proto se pro měření jasů používají jasové analyzátoři, které nevýhody měřících úhlů eliminují.

Jas povrchů, které odrážejí nebo vyzařují světelné záření, je závislý na úhlu pozorování a úhlu dopadu. Proto při měření je třeba uvést místo a směr měření.

Rozložení jasů v místnosti je důležité, neboť zajišťuje zrakovou pohodu (představuje tedy kvalitativní parametr), a měření má probíhat v místech, kde vykonáváme nějakou činnost a kde může jas různých povrchů ovlivňovat tuto činnost. Základním místem pro měření je tedy pracovní plocha a jeho nejbližší okolí. Také stropy, podlahy a stěny mohou odrážet světlo. Při měření jasů se taky uvažuje nábytek a další předměty, které jsou součástí prostoru, ve kterém měření probíhá. Naměřené hodnoty se následně zpracují většinou do tabulek a porovnají se s doporučenými hodnotami jasů.

Při měření jasů oblohy se používají jasoměry s měřícím úhlem do 20°, doporučeny jsou však v rozsahu od 2,5° do 10°. Při menších úhlech dochází k nepřesnosti měření z důvodů nerovnoměrného jasů oblohy. Při větších úhlech může docházet ke stínění okolní zástavbou, prostorem terénu apod.

U ploch, které odrážejí světlo, se jas měří jasoměrem s malým prostorovým úhlem. Na měřené ploše se zvolí pravidelná síť měřících bodů, z které se následně vypočítá průměrný jas. V některých případech lze použít pro měření jasů i luxmetr. Ten však musí měřit kolmo na měřenou plochu a v malé vzdálenosti od ní a také nesmí žádnou svojí částí stínit měřenou plochu. Vzdálenost měření se v takovém případě uvádí menší než 0,1 rozměrů plochy. Jas L se pak vypočte podle vzorce [2,3]

$$L = \frac{E}{\Omega} \quad (9.13)$$

kde J - jas (cd.m^{-2}); E - osvětlenost (lx); Ω - prostorový úhel (sr).

9.4.3. Měření umělého osvětlení

Při měření umělého osvětlení se postupuje podle dvou norem. První je norma ČSN 36 0011-1 Měření osvětlení a ČSN 360011-3 Měření umělého osvětlení. V těch je definován postup pro měření osvětlení a vypracování dokumentů po měření.

V úvodní části se měření odůvodní, uvede se, co bude měřeno a z jakých norem a předpisů se bude vycházet.

V další části se popíše, v jakých podmínkách měření probíhalo (teplota, tlak, vlhkost), s popisem prostoru. Také se uvede čas a datum měření. Důležité je uvést i kdo prováděl měření.

Do třetí části se uvedou použité měřicí přístroje se všemi důležitými údaji, především údaje o korekcích a záznamech o kalibracích.

Ve čtvrté části se konkrétně popíše prostor, ve kterém měření probíhalo včetně zařazení prostoru. Pro daný prostor se uvedou předepsané hladiny osvětlení.

Dále dokumenty obsahují údaje o napájecí soustavě osvětlovací soustavy.

V charakteristice prostoru se uvádějí konkrétní hodnoty činitelů odraznosti stěn, stropů, podlah včetně jejich barev, jejich aktuální stav a konstrukce.

V posledních částech se popíší světelné zdroje se všemi parametry a charakteristikami. Také se uvedou parametry svítidel, počet kusů, charakteristiky, rozmístění a jejich stav.

Tyto parametry musí tedy obsahovat záznam z měření umělého osvětlení. Měří se ve srovnávací rovině (0,85 m od podlahy) a na pracovních místech při celkovém osvětlení.

Měření se provádí v síti kontrolních bodů v místnosti. Tato síť by měla být pokud možno čtvercová. Rozměry této sítě se určují podle velikosti místnosti. Vzdálenost jednotlivých bodů se pohybuje od jednoho do šesti metrů, podle rozlehlosti. Minimální počet měřících bodů n můžeme určit podle následujícího vztahu (9.14).

$$n = \frac{1}{k} = \frac{a \cdot b}{5h \cdot (a + b)} \quad (9.14)$$

kde a, b - rozměry místnosti v metrech; h - výška svítidel nad srovnávací rovinou; k - činitel místnosti, který je uveden v tab. 9.3. Na pracovní ploše jsou body od sebe vzdáleny minimálně 0,2 m od sebe.

Fotočlánek nesmí být při měření ničím krytý, musí být stabilně umístěn ve správné výšce a musí se kontrolovat výška srovnávací hladiny. Měření probíhá tak, aby byla změřena místa s nejmenší a největší intenzitou.

Změřené hodnoty se následně zpracovávají a je pomocí nich vypočítáno dalších několik parametrů.

k	n
k < 1	36
1 ≤ k < 2	25
2 ≤ k < 3	16
3 ≤ k < 4	9
4 ≤ k	4

Tab. 9.3: Závislost počtu měřicích bodů na činiteli místnosti

První si uvedeme průměrnou hodnotu horizontálního osvětlení vypočtenou jako aritmetický střed ze všech provedených měření.

$$E_{prHR} = \frac{\sum_n E_n}{n} \quad (9.15)$$

kde E_{prHR} - průměrná hodnota horizontální osvětlenosti (lx); E_n - osvětlenost v jednotlivých bodech (lx); n - počet měřicích bodů.

Dále se určí maximální intenzita osvětlení E_{max} , kterou představuje maximální hodnota zjištěná při měření. Stejně tak se určí i minimální hodnota E_{min} .

Z podílu minimální osvětlenosti E_{min} a průměrné horizontální osvětlenosti E_{prHR} se určí rovnoměrnost osvětlení r.

$$r = \frac{E_{min}}{E_{prHR}} \quad (9.16)$$

Celková plocha, která je osvětlená se udává podle rozměrů místnosti.

$$S = a \cdot b \quad (9.17)$$

kde S - celková osvětlená plocha (m²); a, b.- rozměry plochy (m).

Z příkonu osvětlovací soustavy a celkové osvětlené plochy se zjistí měrný příkon.

$$p = \frac{P}{S} \quad (9.18)$$

kde p - měrný příkon osvětlovací soustavy (W·m⁻²); P - elektrický příkon soustavy (W); S - celková osvětlená plocha (m²).

Nakonec se určí korekční faktor napětí ze jmenovitého napětí světelného zdroje U_n a napětí naměřeného v soustavě U_m .

$$k_u = \left(\frac{U_n}{U_m} \right)^c \quad (9.19)$$

Exponent c je rozdílný pro různé druhy světelných zdrojů. [2,3]

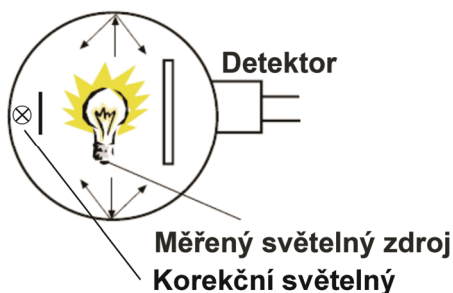
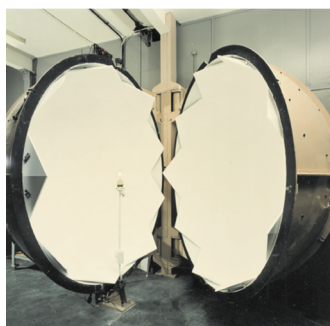
9.4.4. Laboratorní měření

Probíhá v laboratorním prostředí a provádějí se především přesná měření tak, aby výsledky mohly sloužit pro hodnocení a posuzování, případně pro katalogové údaje výrobců. V laboratořích se provádí také kalibrace měřících přístrojů.

Fotometrická laboratoř musí být vybavena černým povrchem nejen stěn, ale také většiny předmětů, aby se zamezilo rušivým odrazům světla. Jedno z nejdůležitějších zařízení je fotometrická lavice. Její délka je od 3 do 6 metrů a je také celá v černém provedení. Tvoří ji ocelová tyč, případně i dvě tyče, na které jsou umístěny měřené i měřící zařízení, ale také pomůcky jako jsou clony. Po celé délce lavice se nachází stupnice s možností odečítání s přesností na 1 mm. Např. při kalibraci luxmetru se na jeden konec lavice umístí normál svítivosti, na pohyblivou část lavice se umístí luxmetr. Kalibrace luxmetru se provádí na základě čtvercového zákona. Měření ovšem musí splnit základní podmínku – dodržení fotometrické vzdálenosti. Ta se určí jako 5-ti násobek největšího rozměru fotometrovaného svítidla popř. zdroje při méně přesných měřeních a 10násobek při přesných měřeních.

Další důležitou součástí fotometrické laboratoře je kulový integrátor (Ulbrichtova koule). Ten slouží k měření světelného toku svítidel a zdrojů. Používá se také k určení měrných výkonů světelných zdrojů, ke kalibraci normálů světelných toků atd. Kulový integrátor je dutá koule, která má normovanou skladbu nátěrů a konečný povrch je spektrálně nezávislý a má vysokou odrazivost. V kouli je vložen do malého okénka fotočlánek, který je kryt měřící clonkou tak, aby se zamezilo přímému dopadu světla na jeho povrch. Kulový integrátor může mít vnitřní průměr od desítek centimetrů (pro světelné diody 0,2 m) až do tří metrů, ve kterém lze měřit zdroje s rozměrem až dva metry. Důležitou roli u tohoto zařízení má korekční žárovka, která eliminuje možné chyby měření, vznikající neaktivními plochami svítidel a dalších prvků.

K dalšímu vybavení laboratoře patří goniofotometr. Ten slouží k určení rozložení křivek svítivosti v prostoru. Konstrukce může být buď taková, že svítidlo je pevně umístěno a fotočlánek se otáčí, nebo naopak.



Obr. 9.10: Kulový integrátor

Pro měření spektrálních vlastností při odrazu nebo prostupu světla se používá spektrofotometr. Pro stanovení vlastností odrazu různých druhů povrchů se používá reflektometr. [3]

9.4.5. Měření na komunikacích

V případech, kdy se požaduje měření pro porovnání s vypočítanými hodnotami, je nutno měřit s nejvyšší možnou přesností, aby srovnání bylo platné. Tam, kde měření slouží ke kontrole stavu osvětlovací soustavy, je možné, že postačí omezený soubor měření provedených při větších roztečích. Hlavní zásadou těchto měření je provádět kontrolu vždy stejným způsobem. V jiných případech může vyhovět i namátková kontrola.

Rozlišují se fotometrická a nefotometrická měření. Fotometrická měření zahrnují zjišťování vlastních hodnot osvětlení a jasů, nefotometrická měření zahrnují zjišťování ostatních souvisejících parametrů, např. geometrických údajů, napájecího napětí a teploty.

Fotometrická měření

- Ustálení poměrů po rozsvícení

Výbojky po zapnutí vyžadují prodlevu, než dojde k ustálení jejich světelného výkonu. Před zahájením definitivního měření osvětlovací soustavy je potřeba provést ve stejném místě nebo místech několik měření osvětlenosti (v pravidelných intervalech opakovaných), aby byla jistota, že světelný zdroj již pracuje stabilně. Po celou dobu měření je nutné provádět kontrolní odečty pro zajištění udržení stability.

- Klimatické podmínky

Klimatické podmínky během měření by měly být takové, aby nemohly významným způsobem ovlivnit výsledky, pokud přímo toto není účelem měření. Vysoké nebo nízké teploty mohou mít vliv na světelný výkon tepelně citlivých zdrojů nebo na přesnost použitých měřicích přístrojů. Kondenzace vzdušné vlhkosti na světelných čidlech nebo na elektrických obvodech měřicích přístrojů může mít vliv na jejich přesnost. Vítr o vysoké rychlosti může způsobit kývání svítidel nebo vibrace měřicích přístrojů. Vítr může i snížením teploty tepelně citlivých světelných zdro-

ju ovlivnit jejich světelný výkon. Dokonce i velmi malá vlhkost povrchu vozovky může výrazným způsobem změnit jas povrchu vozovky. Světelná propustnost atmosféry má vliv na množství světla dopadajícího na měřený povrch a v případě měření jasu i na množství světla odraženého od měřené plochy k jasoměru.

- Cizorodé světlo a stínění světla

Pokud se provádí měření za účelem zjištění světelných parametrů pouze samotné osvětlovací soustavy, je nutno vyloučit přímé i odražené světlo z okolí, nebo je zohlednit. Způsob, jak toto bylo učiněno, by měl být zaznamenán v protokolu o měření. Světlo přicházející z okolí může zahrnovat světlo z výkladů, reklamních panelů, dopravní signalizace, osvětlení vozidel, jiných osvětlovacích soustav, zář oblohy, odrazy od sněhu ležícího po stranách komunikace, atd. Tomuto světlu lze někdy předcházet (odcloněním, vypnutím nebo korekcí). Zář oblohy je možno korigovat, není-li oblačnost proměnlivá. Je-li měření určeno ke zjištění nestíněného světla vycházejícího z osvětlovací soustavy, je nutno zvolit měřicí oblasti tak, aby v nich nebyly překážky vrhající stín (stromy, parkující auta, silniční příslušenství). Přítomnost překážek je nutno zaznamenat v protokolu o měření. [6]

Nefotometrická měření

Výběr nefotometrických měření by měl odpovídat účelu prováděných měření. V případech, kdy se požaduje porovnání výsledků měření s vypočítanými hodnotami, jsou nutná co nejpodrobnější nefotometrická měření. Tam, kde má měření sloužit ke kontrole stavu osvětlovací soustavy, je možné, že postačí méně podrobná nefotometrická měření.

- Geometrické údaje

Geometrie osvětlovací soustavy by měla být ověřena měřením přímo v terénu. Tato měření by měla zahrnovat plán měření v půdorysu, výšku osvětlovacích stožárů a přesah. Dále by u instalovaných svítidel měl být změřen sklon, orientace a rotace, je-li to možné nebo kde tato data mohou přispět k objektivitě měření.

- Napájecí napětí

Při zahájení měření je nutno změřit napájecí napětí na tolika osvětlovacích stožárech, na kolika je to nezbytné. Během měření je potřeba elektrické napětí průběžně měřit ve význačném bodě elektrické instalace a sledovat jeho změny. Pro tyto účely je nevhodnější registrační voltmetr.

- Teplota

Teplotu vzduchu je nutno měřit ve výšce 1 metr nad povrchem vozovky a zaznamenávat každých 30 minut.

- Měřicí přístroje

Všechny použité měřicí přístroje musí být kalibrovány. [6]

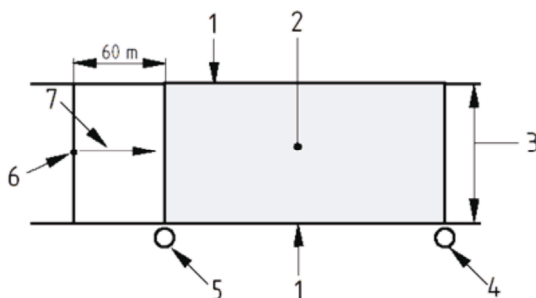
Rozmístění kontrolních bodů

Aby se dosáhlo souladu mezi změřenými a vypočítanými hodnotami, má poloha kontrolních měřicích bodů a poloha pozorovatele při měření souhlasit s polohou kontrolních bodů a polohou pozorovatele ve výpočtu. Souřadnice (polo-

hy) použité při výpočtu musí být v souladu s pravidly uvedenými v EN 13201-3. Je možné, že výsledkem bude velké množství měření, které nemusí být proveditelné, ať již je důvodem nedostatek času nebo jiné příčiny. Za těchto okolností lze provést menší počet měření, ale důsledkem tohoto kroku je ztráta přesnosti. Lepší než měřit velké množství údajů v husté síti kontrolních bodů je vyhledat největší a nejmenší hodnoty měřené veličiny. [5]

Pole pro výpočet jasů

V podélném směru relevantní oblasti leží výpočtové pole mezi dvěma svítilny téže řady, jak ukazuje obr. 9.11, přičemž první svítidlo se nachází ve vzdálenosti 60 metrů před pozorovatelem. Pokud však má osvětlovací soustava více než jednu řadu svítidel a rozteč svítidel v jednotlivých řadách se liší, pak výpočtové pole uvažujeme mezi dvěma svítilny řady s větší nebo největší roztečí. [5]



Obr. 9.11: Pole pro výpočet jasů v relevantní oblasti [5]

Legenda k obr. 9.11: 1 - okraj relevantní oblasti; 2 - výpočtové pole; 3 - šířka relevantní oblasti W_r ; 4 - poslední svítidlo ve výpočtovém poli; 5 - první svítidlo ve výpočtovém poli; 6 – pozorovatel; 7 - směr pozorování.

Umístění výpočtových bodů pro měření jasů

Výpočtové body musí být rovnoměrně rozloženy ve výpočtovém poli, dle obr. 9.12. První a poslední příčné řady výpočtových bodů jsou umístěny v jedné polovině podélné rozteče mezi body ležícími na rozhraní výpočtového pole.

Rozteč bodů v podélném a příčném směru musí být určena takto:

- a) v podélném směru

$$D = \frac{S}{N} \quad (9.20)$$

kde D - je rozteč mezi body v podélném směru (m); S - rozteč mezi svítilny téže řady (m); N - počet výpočtových bodů v podélném směru nabývající těchto hodnot:

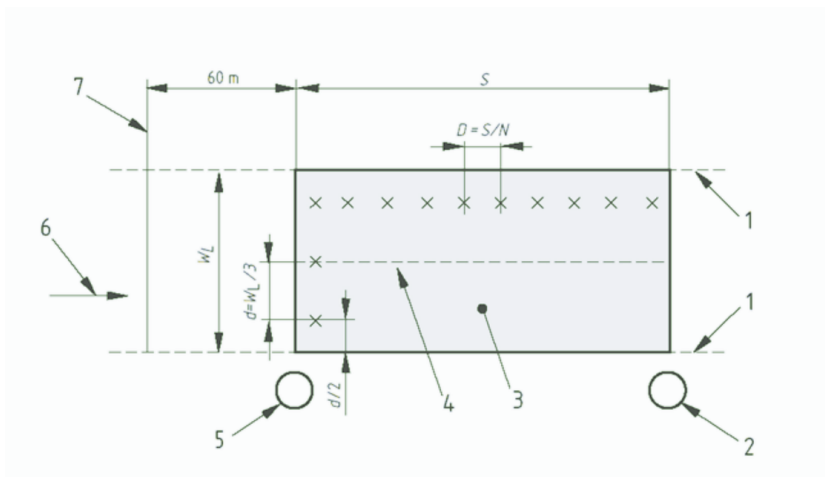
- pro $S \leq 30$ m, $N = 10$,
- pro $S > 30$ m, nejmenší celé číslo splňující podmínku $D \leq 3$ m. První příčná řada výpočtových bodů je umístěna ve vzdálenosti $D/2$ za prvním světlem (z pohledu pozorovatele).

b) v příčném směru

Rozteč (d) v příčném směru je určena rovnicí:

$$d = \frac{W_L}{3} \quad (9.21)$$

kde d - je rozteč mezi body v příčném směru (m); W_L - šířka jízdního pruhu (m).

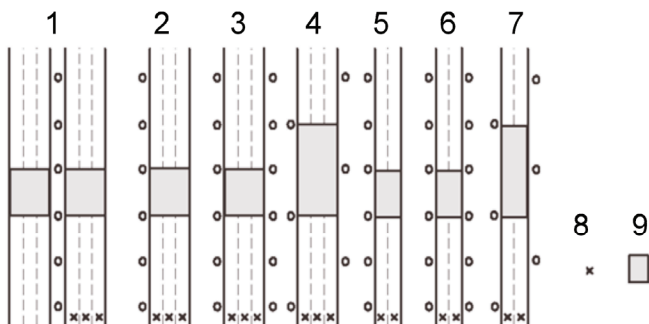


Obr. 9.12: Poloha výpočtových bodů v jízdním pruhu [5]

Legenda k obr. 9.12: 1 - okraj jízdního pruhu; 2 - poslední světlo ve výpočtovém poli; 3 - výpočtové pole; 4 - osa jízdního pruhu; 5 - první světlo ve výpočtovém poli; 6 - směr pozorování; 7 - poloha pozorovatele v podélném směru; x - označuje řady výpočtových bodů v příčném a podélném směru.

Nejodlehlejší výpočtové body jsou vzdáleny $d/2$ od okrajů jízdního pruhu. Tam, kde je zpevněná krajnice a je požadována informace o jasu, musí být počet a rozteč výpočtových bodů stejné jako v případě jízdního pruhu.

Pro výpočty jasu je oko pozorovatele ve výšce 1,5 metru nad úrovní povrchu komunikace. Na obr. 9.13 jsou uvedeny příklady polohy pozorovatele ve vztahu k výpočtovému poli.



Obr. 9.13: Polohy pozorovacích bodů ve vztahu k výpočtovému poli [5]

Legenda k obr. 9.13: 1 - komunikace s šesti jízdními pruhy se středovým dělicím pásem; 2 - komunikace se třemi jízdními pruhy - jednostranné uspořádání svítidel; 3 - komunikace se třemi jízdními pruhy - párové uspořádání svítidel; 4 - komunikace se třemi jízdními pruhy - střídavé uspořádání svítidel; 5 - komunikace se dvěma jízdními pruhy - jednostranné uspořádání svítidel; 6 - komunikace se dvěma jízdními pruhy - párové uspořádání svítidel; 7 - komunikace se dvěma jízdními pruhy - střídavé uspořádání; 8 - poloha pozorovatele; 9 - výpočtové pole.

Umístění výpočtových bodů pro měření osvětlenosti

Výpočtové body musí být rovnoměrně rozloženy ve výpočtovém poli na obr. 9.14 a jejich počet musí být volen následovně:

a) v podélném směru

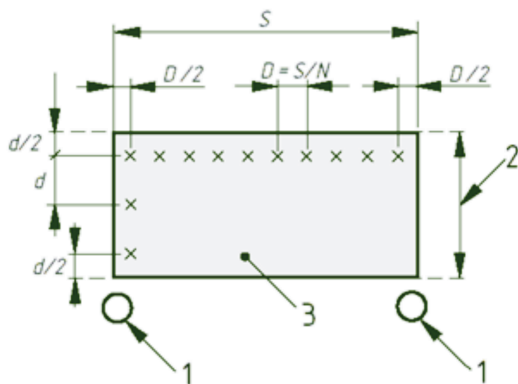
Rozteč v podélném směru se stanoví podle rovnice:

$$D = \frac{S}{N} \quad (9.22)$$

kde D - rozteč mezi body v podélném směru (m); S - rozteč svítidel (m); N - počet výpočtových bodů v podélném směru nabývajících těchto hodnot:

- pro $S \leq 30$ m, $N = 10$,
- pro $S > 30$ m, nejmenší celé číslo splňující podmínku $D \leq 3$ m.

První řada výpočtových bodů je umístěna ve vzdálenosti $D/2$ (v metrech) za prvním svítidlem.



Obr. 9.14: Výpočtové body v relevantní oblasti [5]

kde 1 - svítidlo; 2 - výpočtové pole šířka relevantní oblasti W_r ; 3 - výpočtové pole.

b) v příčném směru

$$d = \frac{W_r}{n} \quad (9.23)$$

kde d - je rozteč bodů v příčném směru měřená v metrech; W_r - šířka vozovky nebo relevantní oblasti měřená v metrech; n - počet bodů v příčném směru, jehož hodnota je větší nebo rovna 3 a je nejmenším celým číslem, které dává $d \leq 1,5$ m.

Vzdálenost bodů od okrajů relevantní oblasti je $D/2$ v podélném směru a $d/2$ v příčném směru, podle obr. 9.14. [5]

9.5. Literatura ke kapitole

- [1] Habel J.: Základy světelné techniky (4), Světlo – časopis pro světelnou techniku a osvětlování č.3, FCC Public s. r. o., Praha, 2009.
- [2] Rybár P., Šesták F., Hraška J., Juklová M., Vaverka J.: Denní osvětlení a oslunění budov, ERA 2002.
- [3] Pich, J.: Světelná technika v praxi. 1. vydání. Praha : IN-EL, 1999. s. 210. ISBN 80-86230-09-0
- [4] Federálny úrad pro normalizáciu a meranie. Technický predpis metrologický TPM 0051-93: Stanovenie neistot při meraniach 1. Diel. Bratislava. 67 s.
- [5] ČSN EN 132 01-3 Osvětlení pozemních komunikací – Část 3: Výpočet
- [6] ČSN EN 132 01-4 Osvětlení pozemních komunikací – Část 4: Měření

10. Výpočtové metody vnitřního a venkovního osvětlení

Navrhování a projektování umělého osvětlení vnitřních či venkovních prostorů je spojeno s celou řadou světelnotechnických výpočtů. Jejich cílem je jednak stanovit výkon a potřebný počet světelných zdrojů, respektive svítidel, tedy celkový instalovaný příkon pro osvětlení daného prostoru, a jednak v navržené osvětlovací soustavě ověřit dodržení ukazatelů jakosti osvětlení.

Metody základních světelnotechnických výpočtů lze rozdělit do dvou skupin, a to na metody tokové, které pracují s místně průměrnými hodnotami světelnotechnických veličin a na metody bodové.

Do prvé skupiny metod patří, vedle předběžného stanovení příkonu osvětlovací soustavy využitím hodnot měrných příkonů, zejména toková metoda světelnotechnických výpočtů. U tokové metody se vychází z požadované průměrné hladiny celkové osvětlenosti obvykle vodorovné výpočtové roviny a stanovuje se k tomu účelu potřebný světelný tok zdrojů a příkon osvětlovací soustavy, z čehož vyplývá i počet světelných zdrojů a svítidel. Tokové metody je též možno využít k určení střední hodnoty jasů stěn a stropu daného prostoru. Vliv zastínění částí srovnávací roviny velkými předměty umístěnými do osvětlovaného prostoru se u tokové metody neuvažuje.

Bodovou metodou výpočtu se zjišťují hodnoty ukazatelů jakosti osvětlení (nejčastěji hodnoty osvětlenosti libovolně natočených pracovních rovin, či hodnoty střední kulové, popříp. válcové osvětlenosti v různých bodech osvětlovaného prostoru), stanovují se maximální a minimální hodnoty sledovaných veličin i odpovídající hodnoty jejich rovnoměrnosti. Při běžných výpočtech integrálních charakteristik bodovou metodou se vliv odražených světelných toků obvykle neuvažuje nebo se respektuje jen přibližně.

Ani toková, ani bodová metoda výpočtu není metodou univerzální. Obě metody mají svá určitá omezení a předpoklady správného použití. Tyto okolnosti musí brát v úvahu projektant při volbě výpočtové metody. Tokové metody se většinou užívá k výpočtu průměrné hodnoty osvětlenosti v soustavě celkového osvětlení. Odstupňované osvětlení vyžaduje pak obvykle řešení bodovou metodou. V případech, kdy činitel odrazu světelně činných ploch osvětlovaného prostoru (zvl. stropu a stěn) je vysoký a zejména, když je prostor ještě osvětlen svítidly jinými než přímými, je třeba bodovou metodou výpočtu integrálních charakteristik odpovídajících pouze přímým světelným tokům doplnit výpočtem nepřímých složek charakteristik, které odpovídají světelným tokům odraženým od světelně činných ploch daného prostoru.

S místně průměrnými hodnotami světelnotechnických veličin, zejména osvětleností a jasů, se pracuje i při návrhu osvětlovacích soustav tokovou metodou. Průměrné hodnoty veličin odpovídají úhrnným světelným tokům dopadajícím na uvažovanou výpočtovou rovinu v osvětlovaném prostoru. Ve vnitřních prostorech se pak berou v úvahu toky dopadající na srovnávací rovinu jak přímo ze svítidel, tak i po odrazu od světelně činných ploch v daném prostoru, zvláště od stropu a od stěn. Výpočet osvětlení vnitřního prostoru tokovou metodou vychází proto

z předpokladu, že svítidla soustavy celkového osvětlení jsou po půdorysu osvětlovaného prostoru rozložena rovnoměrně.

10.1. Bodové metody

Bodové metody umožňují výpočet osvětlenosti v kontrolních místech (bodech) libovolně natočených pracovních rovin, světelný vektor a střední kulovou osvětlenost. Při běžných bodových výpočtech se vliv odražených světelných toků nebere v úvahu.

10.1.1. Aplikace ve vnitřním osvětlení

Tato metoda se využívá jen v případě, kdy lze zanedbat odrazy od okolních stěn, stropu a podlahy. Lze ji tedy použít při výpočtech v místnostech s velice nízkou odrazností povrchů.

Při výpočtech se využívá vztahů popsaných v kapitole 2.

10.1.2. Aplikace ve venkovním osvětlení

Bodová metoda výpočtu osvětlenosti vozovky

Bodovou metodou se v určitém kontrolním místě nejčastěji stanovují hodnoty integrálních charakteristik odpovídající světelným tokům dopadajícím do okolí kontrolního bodu přímo z uvažovaných svítidel či zdrojů, to značí tzv. přímé složky charakteristik. V poli jednotlivých svítidel se počítají hodnoty osvětlenosti, a to v bodech různých pracovních rovin. Zde s výhodou používáme bodovou metodu.

Vodorovná osvětlenost v bodě se vypočítá pomocí následujícího vzorce nebo jeho matematického ekvivalentu:

$$E = \frac{I \cdot \cos^3 \varepsilon \cdot \Phi \cdot MF}{H^2} \quad (10.1)$$

kde E - udržovaná vodorovná osvětlenost v bodě; I - svítivost ve směru k bodu; ε - úhel dopadu světelného paprsku do bodu; H - montážní výška svítidla; Φ - počáteční světelný tok všech zdrojů ve svítidle; MF - součin činitele stárnutí světelného zdroje a udržovacího činitele svítidla.

Kontrolní místa na komunikacích se rozmísťují dle ČSN EN 13201 tak, aby pokrývala celou plochu jednoho prvku osvětlovací soustavy. Přitom v příčném směru uvažujeme tři kontrolní body v každém jízdním pruhu, avšak s podmínkou, že rozteč mezi body nesmí být vyšší jak 1,5 m v podélném směru, při rozteči světelných míst do 30 m je dostačující počítat s deseti kontrolními místy. Je-li rozteč svítidel větší než 30 m, smí být vzdálenost mezi sousedními kontrolními body nejvýše 3 m. Rozmístění kontrolních bodů viz obr 9.14.

Bodová metoda výpočtu jasu vozovky

Při kontrolním výpočtu jasu povrchu komunikace se postupuje podle zmíněné normy, kde jsou v souladu s doporučením CIE odrazné vlastnosti povrchů vozovek

popsány redukovaným součinitelem jasu r , jehož hodnoty jsou v citované normě tabelovány v závislosti na typu povrchu vozovky a na vzájemném umístění pozorovatele, svítidla a kontrolního místa. Hledaná hodnota jasu povrchu komunikace se v daném bodě vypočte tak, že se poměr svítivosti svítidla ve směru ke kontrolnímu bodu a čtverce výšky zavěšení svítidla vynásobí hodnotou zmíněného redukovaného součinitele jasu r .

Jas v bodě lze spočítat pomocí následujícího vzorce nebo jeho matematického ekvivalentu:

$$L = \frac{I \cdot r \cdot \Phi \cdot MF \cdot 10^{-4}}{H^2} \quad (10.2)$$

kde L – jas; I - svítivost ve směru; r - redukovaný koeficient jasu; Φ - počáteční světelný tok všech zdrojů ve svítidle; MF - součin činitele stárnutí světelného zdroje a udržovacího činitele svítidla; H - montážní výška.

Pole pro výpočet jasu je stanoveno v podélném směru relevantní oblasti, kde leží výpočtové pole mezi dvěma svítidly téže řady, přičemž první svítidlo se nachází ve vzdálenosti 60 m před pozorovatelem.

Rozmístění výpočtových bodů je stejné jako u výpočtu osvětlenosti. Je zde však navíc definována poloha pozorovatele (oko pozorovatele ve výšce 1,5 m nad úrovní povrchu komunikace). V příčném směru se pozorovatel umísťuje postupně doprostřed každého jízdního pruhu. Rozmístění kontrolních bodů viz obr. 9.12.

10.2. Tokové metody

Toková metoda vychází z požadované průměrné hladiny osvětlenosti srovnávací roviny a stanovuje potřebný světelný tok zdrojů, jejich počet a také typ svítidla. Tokové metody respektují vliv mnohonásobných odrazů světelného toku. U venkovních prostor však nemají mnohonásobné odrazy význam.

10.2.1. Aplikace ve vnitřním osvětlení

Toková metoda výpočtu průměrné osvětlenosti ve vnitřním prostoru

Toková metoda je v praxi nejčastěji používaný postup předběžného návrhu osvětlení. Nejběžněji se tokové metody využívá ke stanovení celkového, časově maximálního (počátečního) světelného toku Φ_z zdrojů světla potřebného k zajištění určité průměrné hladiny celkového osvětlení v bodech vodorovné srovnávací roviny, tj. např. normou ČSN EN 12464-1 požadované udržované osvětlenosti E_m .

Světelný tok zdrojů, který je třeba v uvažovaném prostoru instalovat, se stanoví ze vztahu:

$$\Phi_z = \frac{E_m \cdot A}{z \cdot \eta_E} = \frac{E_{m0} \cdot A}{\eta_E} \quad (10.3)$$

kde E_m - udržovaná osvětlenost (dříve E_{pk} místně průměrná a časově minimální osvětlenost); A - velikost osvětlované plochy (půdorysu); z - udržovací činitel; E_{m0} - průměrná počáteční osvětlenost; η_E - činitel využití pro výpočet osvětlenosti.

Vydělíme-li tok Φ_z vypočtený z rovnice tokem zdrojů v jednom svítidle, které uvažujeme pro osvětlení daného prostoru použít, zjistíme, kolik je třeba těchto svítidel instalovat. Takto stanovený počet svítidel je však nutno vhodně zaokrouhlit, přičemž je třeba přihlídnout i k předpokládanému rozmístění svítidel. Protože jsme ovšem takto změnili celkový tok zdrojů, tedy hodnotu Φ_z , je nutno ověřit, zda bude i v tomto případě dodržena požadovaná osvětlenost E_m . K tomu použijeme vztah:

$$E_m = \frac{\Phi_z}{A} \cdot z \cdot \eta_E \quad (10.4)$$

V posledních letech byly zpracovány počítačové programy, které umožňují stanovit činitele využití η_E poměrně rychle přímo výpočtem bezprostředně pro každou řešenou alternativu, pokud jsou využita svítidla, jejichž světelnotechnické charakteristiky jsou obsaženy v paměti počítače. Daří se tak nejen zrychlit, ale i zpřesnit určení činitele η_E . Proto také postupně klesá význam předem připravených tabulkových podkladových materiálů pro určení činitele využití, v nichž bylo běžně nutno i několiknásobně interpolovat, což pochopitelně zdatelně zvyšovalo chybu výpočtu.

10.2.2. Aplikace ve venkovním osvětlení

Toková metoda výpočtu průměrné osvětlenosti komunikace

Pro venkovní prostory lze tokovou metodou stanovit hodnoty světelných toků zdrojů potřebných k zajištění požadované průměrné osvětlenosti na určité osvětlované ploše. V uličních osvětlovacích soustavách se k tomu využívá celkové účinnosti osvětlení η , která je rovna poměru tzv. užitečného světelného toku Φ_{uz} , dopadajícího z uvažovaného svítidla na vozovku a chodníky, ke světelnému toku Φ_z zdrojů světla instalovaných ve svítidle.

$$\eta = \frac{\Phi_{uz}}{\Phi_z} = \eta_s \cdot \eta_v \quad (10.5)$$

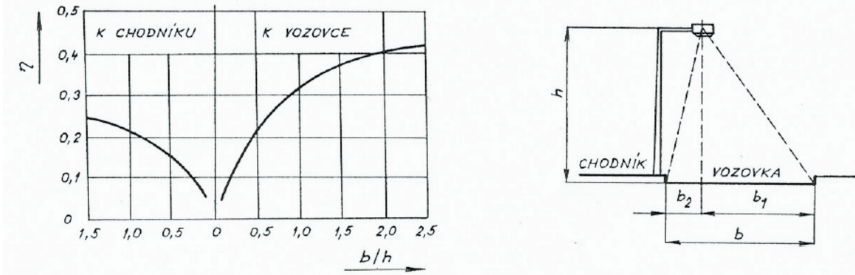
kde η – přepočtená účinnost svítidla ve venkovním prostoru; η_s - účinnost svítidla; η_v - činitel využití světelného toku svítidla v prostoru, tj. poměr užitečného toku Φ_{uz} dopadajícího na vozovku a chodníky k toku vyzařovanému svítidlem Φ_{sv} [$\eta_v = \Phi_{uz} / \Phi_{sv}$].

Udržovaná osvětlenost E_m , které se dosáhne na komunikaci o šířce b při rozteči l svítidel, se vypočte ze vztahu :

$$E_m = \frac{\Phi_z}{b \cdot l} \cdot z \cdot \eta \quad (10.6)$$

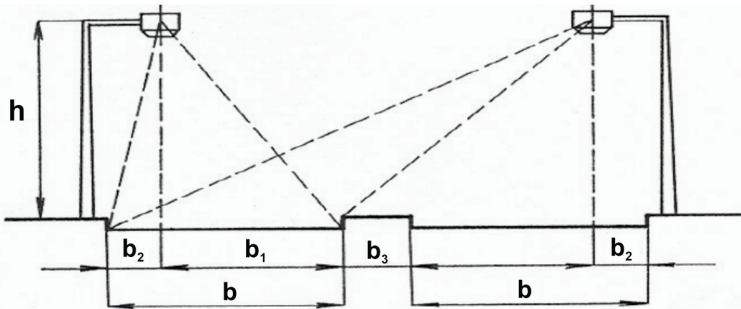
kde Φ_z - jmenovitý světelný tok zdrojů světla, a to u jednostranné, osové a vystřídané soustavy v jednom svítidle a u párové soustavy ve dvou svítidlech; z - udržovací činitel $z \geq 0,6$, b – šířka vozovky, l – délka úseku mezi stožáry.

Celková účinnost osvětlení η je závislá nejen na účinnosti svítidla a na geometrických parametrech (výška zavěšení svítidla, šířka komunikace atd.), ale také na fotometrické ploše svítivosti svítidla. Většinou se celková účinnost osvětlení stanovuje pro dané svítidlo v závislosti na poměrné šířce b/h komunikace. Často se výsledky výpočtů uvádějí ve formě grafických závislostí $f(b/h)$ v patě stožáru nazývaných b/h křivkami.



Obr. 10.1: b/h křivka a geometrické uspořádání

Při geometrickém uspořádání se postupuje tak, že se z křivky pro směr k vozovce odečte hodnota η_1 odpovídající poměrné šířce b_1/h a z křivky pro směr k chodníku hodnota η_2 pro poměrnou šířku b_2/h . Výsledná účinnost η je v tomto případě dána součtem dílčích hodnot η_1 a η_2 , tj. $\eta = \eta_1 + \eta_2$. Dílčí šířky b_1 a b_2 se odečítají od svislice spuštěné ze svítidla. Obdobně se postupuje i u směrově rozdělené komunikace se středním pásem o šířce b_3 osvětlené párovou soustavou.



Obr. 10.2: Párová osvětlovací soustava

Z (b/h) křivek použitého svítidla se stanoví hodnoty dílčích účinností η_1 pro b_1/h , η_2 pro b_2/h , η_3 pro $(b + b_3 + b_1)/h$ a η_4 pro $(b_3 + b_1)/h$. Výsledná účinnost se poté určí z výrazu $\eta = \eta_1 + \eta_2 + \eta_3 + \eta_4$.

Při předběžném návrhu osvětlení komunikace stanovíme z rovnice pro požadovanou osvětlenost E_m potřebný tok Φ_z zdrojů světla. Po korekci hodnoty toku Φ_z s ohledem na skutečně použité zdroje pak ověřujeme dodržení předepsané osvět-

lenosti. Bodovou metodou je dále nutno provést podrobnější kontrolu, zvláště s ohledem na dodržení požadované celkové a podélné rovnoměrnosti.

Toková metoda výpočtu průměrného jasu vozovky

Jas povrchu vozovky je závislý nejen na světelnotechnických parametrech svítidel, na jejich rozmístění a na volbě kontrolního místa, ale také na umístění pozorovatele a na světelnotechnických vlastnostech povrchu vozovky. Jsou-li k dispozici údaje charakterizující odrazné vlastnosti povrchu vozovky, je možno použít tokovou metodu i pro výpočet průměrného jasu vozovky. Obvykle se k tomu využívá součinitel jasu vozovky, který se označuje písmenem q a je roven poměru jasu L (v daném bodě a v určitém směru) k hodnotě osvětlenosti E vodorovné roviny v uvažovaném kontrolním místě.

$$q = \frac{L}{E} \quad (10.7)$$

V mezinárodních doporučeních se uvádějí orientační průměrné hodnoty součinitele jasu q pro světlé povrchy vozovek osvětlené cloněnými svítidly s širokou křivkou svítivosti $q_p = 0,1 \text{ cd}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{lx}^{-1}$ a pro tmavé stejně osvětlené vozovky $q_p = 0,07 \text{ cd}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{lx}^{-1}$. S průměrnými hodnotami q_p součinitele q lze počítat, pokud ve smíšeném odrazu od vozovky nepřeváží zrcadlová složka nad difúzní. Tomu vyhovují např. asfalto-betonové vozovky s hrubší strukturou. Využijeme-li průměrnou hodnotu součinitele q , můžeme určit místně průměrnou a časově minimální hodnotu udržované osvětlenosti E_m pro požadovanou místně průměrnou a časově minimální hodnotu udržovaného jasu L_m povrchu vozovky ze vztahu:

$$E_m = L_m \cdot \frac{1}{q_p} \quad (10.8)$$

Dále se již postupuje stejně jako u tokové metody výpočtu průměrné osvětlenosti komunikace, jak je uvedeno výše.

10.3. Vybrané výpočetní programy

Důležitým kritériem kvality projektované osvětlovací soustavy je její světelnotechnický model. Ten umožňuje ověření a upřesnění výpočtů a také vyzkoušení světelnotechnických řešení jednotlivých částí osvětlovací soustavy. V minulosti byly tři základní typy světelnotechnických modelů: výpočtové (bez uvažování skutečných rozměrů, pomocí tabulek), přesné (na modelech 1:1) a makety vytvářející zobrazení podobné vizuálnímu vjemu projektované osvětlovací soustavy.

V současné době se ve světelnotechnickém modelování uplatňuje jiný přístup, který je založen na počítačové vizualizaci osvětlení prostorových 3D scén projektované osvětlovací soustavy. V tomto případě se provádějí světelnotechnické výpočty se zadanou přesností bez použití nákladných fyzických modelů.

Při projektování osvětlovacích soustav se jako základní nástroj pro výpočet a modelování již několik let používají specializované počítačové programy.

Požadavky na výpočetní program

Program musí mít intuitivně srozumitelné a pro projektanta obvyklé uživatelské grafické rozhraní, aby bylo možné rychlé zaškolení projektantů.

Program musí mít vhodnou databázi používaných osvětlovacích prostředků, umožňující její doplňování, tj. musí pracovat se standardními formáty popisu svítidel (IES, LTD atp.).

Žádoucím, ačkoliv ne nutným požadavkem na program, je zahrnutí předpisových požadavků domácích, popř. i zahraničních norem, s následným výstupem příslušné projektové dokumentace.

Program musí uživateli poskytovat různé světelnotechnické parametry (osvětlenost, jas, index oslnění, izoluxní čáry atd.), přičemž přesnost výpočtu musí být aspoň 10 %).

Program buď musí mít vlastní prostředky pro vytváření trojrozměrných (3D) scén, nebo umožňovat import ze specializovaných 3D editorů (pracujících s formátem 3ds nebo dxf).

Možnost různě a snadno ovládat zadávání rozmístění svítidel.

Vizualizace výsledků – zrakové hodnocení kvality osvětlení.

Vícevariantní způsob výstupu výsledků pro snazší hodnocení osvětlení.

Možnost dialogového interaktivního výpočtu osvětlovací soustavy a výběru nejlepšího řešení.

Možnost vložení podkladu z výkresové dokumentace.

10.3.1. Nejčastěji používané výpočetní programy

Wils

Jde o český software podle českých a evropských norem. Má komfortní ovládání a výstupy ve spolupráci s CAD systémy. Umožňuje řešení sdruženého osvětlení po načtení výpočtu denního osvětlení.

Výpočty provádí dle platných norem, které již byly dříve podrobně rozvedeny:

- EN 12464-1 - osvětlení vnitřních pracovních prostorů,
- EN 12464-2 - osvětlení venkovních pracovních prostorů,
- EN 12464-1/Z1 - národní příloha,
- EN 12193 - osvětlení sportovišť,
- EN 13201 - osvětlení komunikací,
- EN 1838 - nouzové osvětlení.

Program poskytuje následující metody výpočtu:

bodovou metodu "dělení zdrojů" výpočtu přímé složky osvětlenosti, bodovou metodu mnohonásobných odrazů výpočtu odražené složky osvětlenosti - numeric-

ká integrace, tokovou metodu rychlého návrhu počtu svítidel v prostoru, výpočet udržovacího činitele podle ČSN EN 12464-1/Z1, výpočet činitele oslnění UGR (vnitřní prostory) podle EN 12464-1, výpočet činitele oslnění GR (venkovní prostory) podle CIE, výpočet jasů vozovek podle EN 13201, výpočet prahového přírůstku - oslnění vozovek.

Možnosti programu:

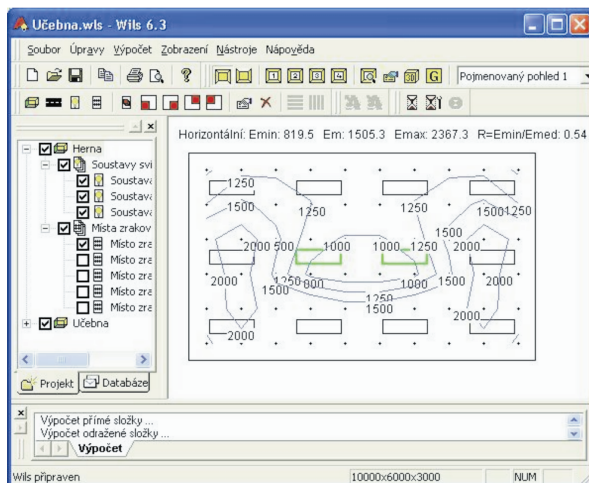
prezentační vizualizace, řešení různých režimů provozu, tabulková editace jednotlivých svítidel, vázané soustavy svítidel, možnost několika kroků zpět při editaci soustavy svítidel, zobrazování souřadnic svítidel na osách, možnost posouvání svítidel s udržením směrového bodu, zobrazení podhledového rastru, vylepšený tiskový výstup, barevné izolinie, více obrázků k místnosti, snadnější zadání nepravidelné místnosti ve spolupráci s cadem.

Světelnětechnické vlastnosti programu:

bodový výpočet odražené složky nastavitelnou numerickou metodou mnohonásobných odrazů, stínící vlastnosti interiérových a stavebních prvků a různé tvary místností lze respektovat soustavami neprůsvitných nebo poloprůsvitných překážek; snadno lze definovat překážky simulující místnost tvaru L nebo U, bodovou metodou lze spočítat nejen horizontální a normálovou osvětlenost, ale i složky světelného vektoru, kulovou, válcovou a "kamerovou" osvětlenost, svítidla lze v prostoru orientovat zcela libovolně, a to pomocí úhlů, směrových bodů, vektorů nebo je lze směřovat myší, databáze svítidel obsahuje více než 50000 svítidel různých výrobců.

Grafické vlastnosti programu:

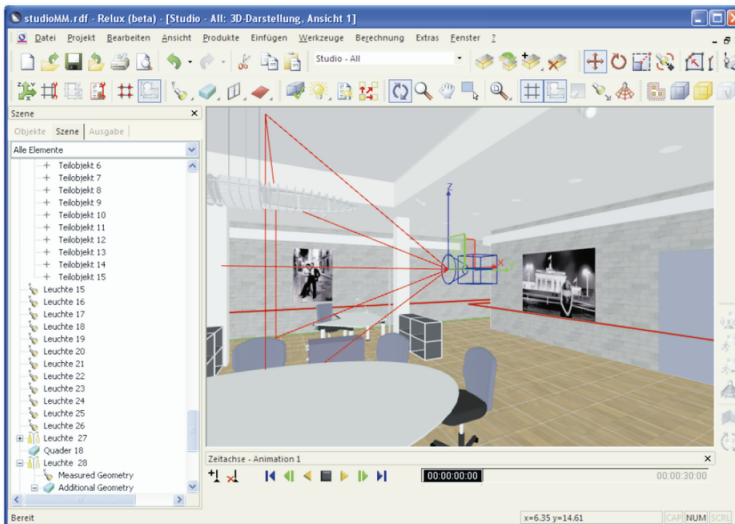
přepínatelné editační a vizualizační zobrazení, nastavitelné zobrazení podle potřeb, výsledky výpočtu osvětlenosti nebo jasu lze zobrazit formou tabulky nebo izo diagramu, výsledky výpočtu činitele oslnění UGR nebo GR lze zobrazit tabulkou, izo diagramem nebo značkami oslnění, možnost práce s pojmenovanými pohledy.



Obr. 10.3: Prostředí výpočetního programu Wils

Relux

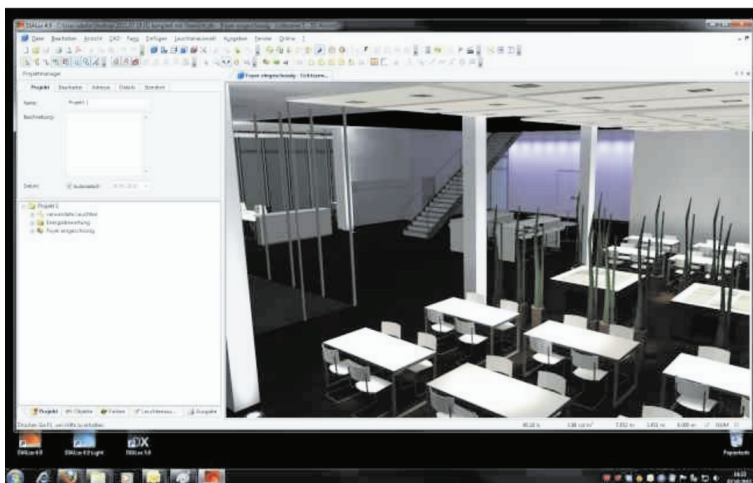
Světelnětechnický výpočetní program Relux je švýcarský program na špičkové evropské úrovni s možností připojení databází svítidel českých i mezinárodních výrobců. V porovnání s programem Wils je mnohem více propracovanější a nabízí přívětivější 3D prostředí. Program umožňuje práci s několika formáty světelnětechnických dat a možnost importovat charakteristiky jednotlivých svítidel. Pomocí tohoto programu je možné počítat umělé, denní, sdružené i nouzové osvětlení. V programu je obsaženo velké množství vnitřního vybavení, nábytku, materiálu a textur pro možný výpočet vnitřního, venkovního a uličního osvětlení. V případě půdorysných podkladů v provedení 2D a 3D je možné importovat objekt z CAD programu, poté navrhnout osvětlovací soustavu umělého osvětlení v programu Relux a po vrácení do CAD programu se objeví navržená osvětlovací soustava v půdorysu daného prostoru. Následně je možné s touto soustavou pracovat, případně ji rozdělit, ovšem v této situaci je nutné opět provést výpočet světelných parametrů v programu Relux a ověřit, zdali tyto parametry vyhovují požadavkům uvedeným v normách. Také lze využít formáty dxf, vrml, 3ds a wmf, což podstatně usnadní práci s vytvářením daného objektu určeného k návrhu osvětlení.



Obr. 10.4: Prostor výpočetního programu Relux

Dialux

Tento německý výpočetní program společnosti DIAL GmbH je svou propracovaností a uživatelským prostředím velice podobný programu Relux.



Obr. 10.5: Prostředí výpočetního programu Dialux

10.4. Literatura ke kapitole

- [1] Habel, J.: Světelná technika a osvětlování. Praha : FCC PUBLIC, 1995. 437 s. ISBN 800-901985-0-3.
- [2] ČSN EN 13201 - Osvětlení pozemních komunikací
- [3] Dostupné z URL: <<http://www.dial.de>>
- [4] Dostupné z URL: <<http://www.relux.biz>>
- [5] Dostupné z URL: <<http://www.astrasw.cz>>
- [6] Hurt, L.: Optimalizace provozu osvětlovacích soustav, 2009

11. Řízení provozu osvětlovacích soustav

11.1. Předřadné přístroje

Světelné zdroje, kromě klasických žárovek, potřebují pro svou činnost předřadné přístroje. U klasických žárovek plní předřadný přístroj pouze funkci regulátoru. Halogenové žárovky mají na malé napětí dva druhy předřadníků, jedná se o indukční nebo elektronické transformátory, které převádějí jmenovité napětí sítě na napětí 12 V nebo 24 V. U výbojových světelných zdrojů, v našem případě lineárních a kompaktních zářivek, je předřadník nezbytnou součástí. Omezuje elektrický proud tekoucí z výbojek na požadovanou hodnotu. Po dlouhou dobu existence výbojových zdrojů se nejčastěji používaly předřadníky indukční, i když jejich rozměry, hmotnost a velikost energetických ztrát při napájení ze sítě s frekvencí 50 Hz přinášely řadu problémů. S rozvojem elektroniky se objevily vhodné měniče frekvence, které se staly základem elektronických předřadníků pracujících na vysoké frekvenci. Světelné zdroje LED potřebují pro svou činnost konstantní úroveň napětí či proudu. Zde se jako předřadné přístroje používají napěťové a proudové zdroje.

11.1.1. Předřadníky pro žárovky

Klasická žárovka, ať už vakuová či plněná plynem, nepotřebuje pro běžný provoz předřadný přístroj. Tyto žárovky jsou konstruovány na jmenovité napětí 230 V a předřadný přístroj je použit jen v případě jejich stmívání. Existují samozřejmě žárovky, které jsou vyráběny ke speciálním účelům, a jmenovité napětí se může lišit. Typickým příkladem je automobilový průmysl, kde je využíváno malé napětí 12 V.

11.1.2. Předřadníky pro halogenové žárovky

Halogenové žárovky se vyrábějí v typech pro jmenovité napětí 230V, které lze připojit na síťové napětí 230 V bez předřadníku, nebo pro malé napětí 6, 12 a 24 V. Tyto žárovky však potřebují pro připojení na napájecí síť 230 V příslušný předřadník. Základní rozdělení těchto předřadníků je na magnetické (transformátory) a elektronické (měniče napětí).

Indukční transformátory jsou zpravidla navinuty na toroidním jádru složeném z transformátorových plechů. Vyrábějí se běžně ve výkonech od 20 do 1000 VA. Indukční transformátory se vyrábějí i ve stmívatelném provedení. Účinnost transformátoru se pohybuje od 0,7 do 0,85. Nevýhodou těchto transformátorů je větší hmotnost a oteplení při provozu. Přestože jsou sami zdrojem tepla, transformátory mají vysokou teplotní odolnost. Některé typy jsou odolné až do teploty okolí 100°C. Především z tohoto důvodu musí mít transformátory dvojitou izolaci a jištění proti zkratu přímo na transformátoru (zpravidla bimetal nebo nízkotavitelný kov).

Elektronické transformátory pracují na principu středofrekvenčního měniče. Síťové napětí se nejdříve usměrní a poté se v oscilačním obvodu rozkmitá na frekvenci kolem 30 – 40 kHz. Na feritovém transformátoru se transformuje na pracovní napětí, zpravidla 12 V. Přístroj je vybaven na primární straně filtrací proti vyšším harmonickým kmitočtům. Výrobci také nabízí regulovatelnou verzi, která je určena pro stmívání. Regulovat lze pomocí instalačních tlačítek, elektronických potencio-

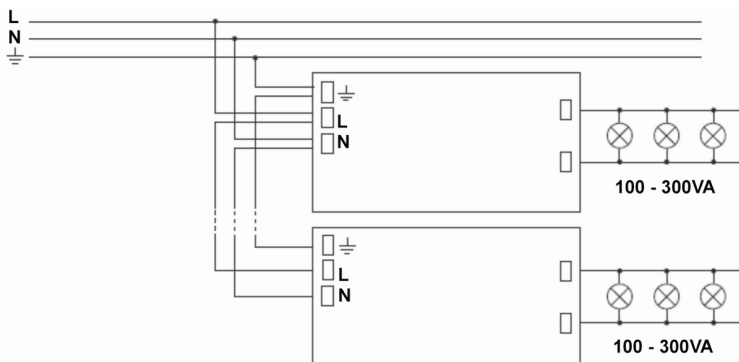
metrů nebo pomocí digitálních protokolů. Přístroje jsou běžně dostupné do výkonu 300 W.



Obr. 11.1: Indukční transformátor



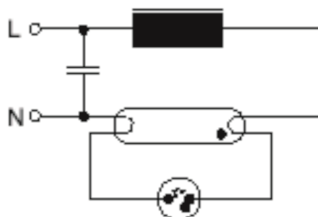
Obr. 11.2: Elektronický transformátor



Obr. 11.3: Schéma zapojení elektronických transformátorů

Předřadníky pro nízkotlaké výbojové zdroje (zářivky)

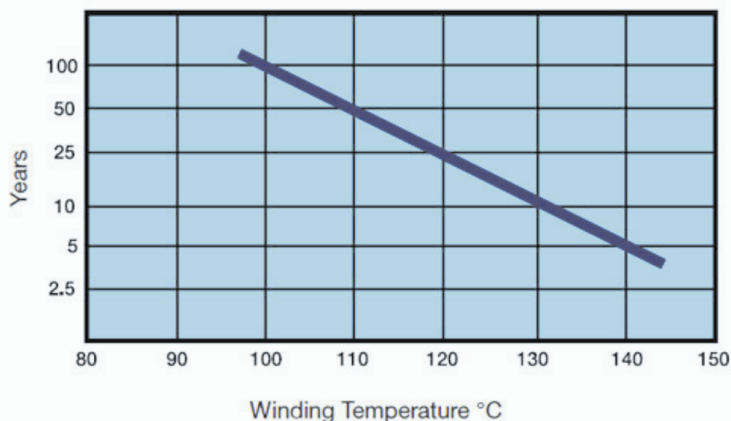
Předřadníky zde lze rozdělit na indukční (magnetické) a elektronické. Při použití indukčních předřadníků (tlumivka) je nutné použít zapalovač (startér) pro zapálení výboje v trubici. Jelikož účinnost předřadníku se pohybuje od 0,25 do 0,60, je nutné použít kompenzaci. Nejčastěji je používána kompenzace individuální s paralelním zapojením. U větších aplikací, jako jsou například průmyslové či skladové haly, je možné použít kompenzaci skupinovou. Jelikož pracuje na frekvenci 50 Hz, může docházet ke stroboskopickému efektu, tzn. že točící se předmět se může jevit jako statický. Proto je nutné omezit tento jev, především u provozu s točivými stroji (rozfázováním). Indukční předřadník se vyrábí pro T8, T12 a kompaktní zářivky.



Obr. 11.4: Schéma zapojení

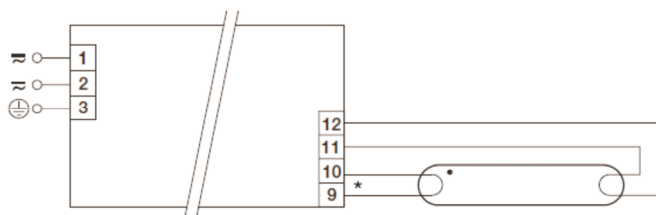
Stejně jako u indukčních transformátorů pro halogenové žárovky odolává předřadník vysokým okolním teplotám a vyznačuje se dlouhou životností.

Lifetime of magnetic chokes



Obr. 11.5: Životnost indukčního předřadníku

Elektronický předřadník přináší oproti indukčnímu několik výhod. Z hlediska komfortu nedochází k výraznému blikání světelného zdroje při startu. Pracuje na vysoké frekvenci nad 40 kHz, proto nedochází ke stroboskopickému jevu. Elektronika uvnitř předřadníku si sama stabilizuje výstupní proud a napětí – není třeba tlumivky a zapalovače. Má nižší hmotnost a účinek se pohybuje okolo 0,98 – není třeba kompenzace. Životnost se pohybuje okolo 50 000 hodin pro aplikace všeobecné a 100 000 hodin pro průmyslové. Elektronické předřadníky se vyrábějí i ve stmívatelných verzích.



Obr. 11.6: Schéma zapojení zářivky

Porovnání elektronických a indukčních předřadníků

Nevýhody indukčních předřadníků, ve srovnání s elektronickými předřadníky, jsou dimenzování přívodů ke svítidlu, potřeba kompenzace, oteplení, vibrace, hluk, možnost vzniku stroboskopického jevu, vyšší hmotnost.

Přednosti použití elektronických předřadníků pro zářivky, kompaktní zářivky a halogenové žárovky jsou úspory energie až 30 % u nestmívatelného elektronického předřadníku, ve srovnání s indukčním, úspory energie až 75 % v kombinaci

s dalšími systémy řízení osvětlení, delší životnost světelného zdroje a s tím spojené nižší náklady na údržbu osvětlovací soustavy, snížení úbytku světelného toku během života zdroje, rozsah stmívání 1 %, popř. 3 % – 100 % světelného toku, start zářivky na jakoukoliv nastavenou hodnotu, odolnost vůči výkyvům napětí a rušení ze sítě, digitální řídicí vstup nezávislý na polaritě, tichý provoz bez blikání, elektronické předřadníky potlačují stroboskopický efekt, nízká hmotnost, automatické odpojení na konci života světelného zdroje, vyšší spolehlivost provozu, dlouhá životnost předřadníku až 100 000 h, přípustná teplotní oblast pro funkčnost provozu – 30°C až +70°C, kompletní typová řada pro všechny důležité typy zářivek T16, T26 a kompaktní zářivky, nižší náklady na instalaci.

11.1.3. Předřadníky pro vysokotlaké výbojky

Stejně jako u předchozích předřadníků, i zde je rozdělení na indukční a elektronické. Indukční předřadníky mají obdobné schéma zapojení. Hlavní součástí obvodu je tlumivka, která je vyráběna s odpovídající impedancí pro jednotlivé druhy světelných zdrojů - halogenidových, sodíkových či rtuťových. Samozřejmě je součástí obvodu také startér, který pro zapálení výboje vyvine pulzní napětí až 5 kV. U některých typů rtuťových výbojek není nutné použití zapalovače. Pro kompenzaci se, stejně jako u zářivek, používá kondenzátorů.



Obr. 11.7: Tlumivka pro výbojku 1000W

Většina tlumivek je vybavena vratnou tepelnou ochranou, která je nastavena okolo 155°C. Tlumivky jsou konstruovány pro výkony od 20 do 3 500 W

Elektronické předřadníky se vyrábějí pro výkonové řady od 20 do 600 W. Vyrábějí se i stmívatelné verze. Pro sodíkové výbojky do 600W a pro halogenidové do 150 W. Při stmívání halogenidových výbojek je nutné použít typ, který je pro stmívání doporučen. Při použití halogenových výbojek, které nejsou pro stmívání doporučeny, dochází ke změnám světelnotechnických vlastností.



Obr. 11.8: Elektronický předřadník pro venkovní použití, stmívatelný

11.1.4. Předřadníky pro světelné diody

Zařízení slouží k napájení světelných diod stejnosměrným konstantním napětím či proudem. Obsahují ochrany proti zkratu, přetížení, přepětí a teplotě. Vyrábějí se také v regulovatelném provedení s možností regulace tlačítky, potenciometry a v digitálních systémech řízení. Typizované napěťové zdroje jsou pro hodnoty napětí 8, 12, 24 V. Proudové zdroje se pohybují v rozmezí 30 mA až 1400 mA. Tyto hodnoty jsou závislé především na výrobci LED zdrojů. Nejrozšířenější jsou řady 350 mA a 700 mA.



Obr. 11.9: Zdroj konstantního proudu

11.2. Možnosti stmívání světelných zdrojů

Mezi hlavní důvody regulace osvětlení patří dosažení požadovaného osvětlení s ohledem na vykonávanou činnost, přizpůsobení osvětlení požadavkům uživatele, dosažení požadovaného osvětlení v závislosti na úrovni denního světla a snížení provozních nákladů na osvětlení. Výsledkem regulace osvětlení je zlepšení kvality osvětlení, zpříjemnění pobytu a práce, snížení příkonu svítidel a ztrát na napájecím vedení. Dříve byly světelné zdroje regulovány z důvodu přizpůsobení jasů určité situaci, v posledních desetiletích osvětlovací zařízení regulují intenzitu osvětlení převážně z ekonomického hlediska. S vývojem elektronických technologií se ustupuje od klasického způsobu ovládání osvětlovací soustavy změnou napájecího napětí. Přistupuje se k řízení osvětlení pomocí různých inteligentních řídicích systémů. Tyto systémy poskytují možnost řídit a ovládat osvětlovací soustavu z hlediska maximálního využití denního světla a přítomnosti osob. V dnešní době existují systémy, které se zabývají nejen řízením osvětlení, ale také ovládáním všech technologií v budově, jako jsou vytápění, klimatizace, bezpečnostní systémy a požární signalizace. Přestože ekonomické a energetické úspory jsou hlavním kritériem pro volbu těchto systémů, nabízí tyto systémy také zvýšení komfortu osvětlování a provozní bezpečnosti. Hlavní kritéria pro řízení umělého osvětlení:

Komfort řízení – spočívá v poskytnutí pohodlného ovládání dané osvětlovací soustavy. Komfort spojený s kvalitou řízení osvětlovací soustavy se dosahuje použitím různých senzorů a dálkových ovládání.

Úspora elektrické energie – řídicí systémy dosahují vysoké úspory při optimálním návrhu osvětlovací soustavy ve spojení s využitím dostupného denního světla, s časovými spínači a s použitím světelných a pohybových senzorů.

Flexibilita – přizpůsobivost řídicího systému je důležitou vlastností řídicích prvků zabezpečujících variabilitu použití.

Přesnost a funkčnost systému – je dána kvalitou použitých řídicích prvků,

Ekonomické náklady – jsou jedním z rozhodujících kritérií při výběru řídicího systému a souvisí s předcházejícími kritérii.

Regulovat osvětlovací soustavu můžeme:

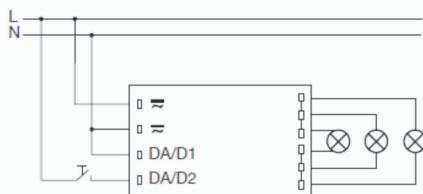
- klasickými spínači – řízením rovnoměrně rozmístěné osvětlovací soustavy dosáhneme tzv. okruhování svítidel a jednotlivé okruhy spínáme vypínači nebo časovým naprogramováním. Je to jeden s nejjednodušších principů řízení osvětlovacích soustav. Nutná je ovšem podmínka zachování vyhovující rovnoměrnosti osvětlení a intenzity osvětlení. Rozsah stmívání je obvykle 100 % a 50 %. Hlavní výhodou tohoto řízení jsou nesporně velmi nízké investiční náklady.
- stmívači – dosahujeme plynulé regulace osvětlovací soustavy svítidel. Existují různé druhy stmívačů, od analogových až po elektronické, v závislosti na použitém zdroji osvětlení a předřadného přístroje. Tyto stmívače můžeme řídit ručně pomocí tlačítek, řídicím systémem nebo dálkovým ovládním. Povel ke stmívání může být také spuštěn z čidla přítomnosti osob, čidlem na denní osvětlení nebo časovým spínačem. Při stmívání se snižuje měrný výkon světelných zdrojů. Při návrhu stmívání nemůžeme využívat celý rozsah změny světelného toku.

Druh svítidla	Rozsah regulace [%]
Svítidlo se žárovkami	0-100
Svítidlo s halogenovými žárovkami	0-100
Zářivkové svítidlo s klasickým předřadníkem	50-100
Zářivkové svítidlo s elektronickým předřadníkem	1-100
Svítidlo s halogenidovou výbojkou	70-100

Tab. 11.1: Rozsah regulace pro různé typy světelných zdrojů

11.2.1. Stmívání halogenových žárovek na malé napětí

Principy regulace jsou stejné jako v předcházející části. Výkon se reguluje na primární straně transformátoru. Používají se regulátory určené pro stmívání zdrojů napájených indukčními nebo elektronickými transformátory.



Obr. 11.10: Regulace halogenových žárovek s elektronickým stmívatelným předřadníkem

11.2.2. Stmívání zářivek s konvenčním předřadníkem

- Základní regulace světelného toku soustavy je přepínáním okruhů, nejčastěji v rozsahu 0 %, 50 %, 100 %.
- Fázová regulace - rozsah regulace od 50 do 100 % světelného toku.

11.2.3. Zářivky s nestmívatelným elektronickým předřadníkem

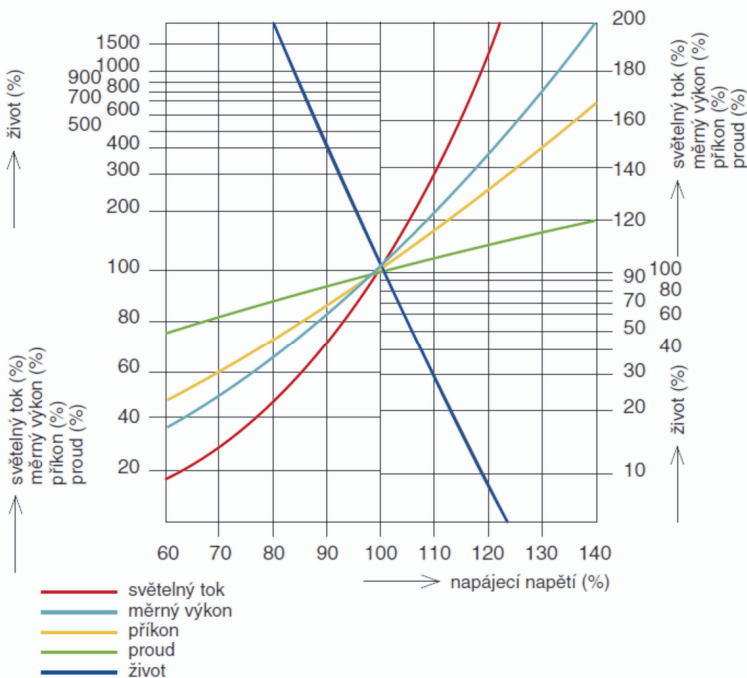
- Základní regulace světelného toku soustavy je přepínáním okruhů, nejčastěji v rozsahu 0 %, 50 %, 100 %.

11.2.4. Stmívání klasických žárovek

Základní regulace světelného toku soustavy je přepínáním okruhů, nejčastěji v rozsahu 0 %, 50 % a 100 %.

Fázová regulace - jedná se o regulaci napětím, kde systém reguluje světelný tok světelného zdroje snižováním efektivní hodnoty napájecího napětí při zachování amplitudy napětí. Rozsah regulace od 0 do 100 % světelného toku.

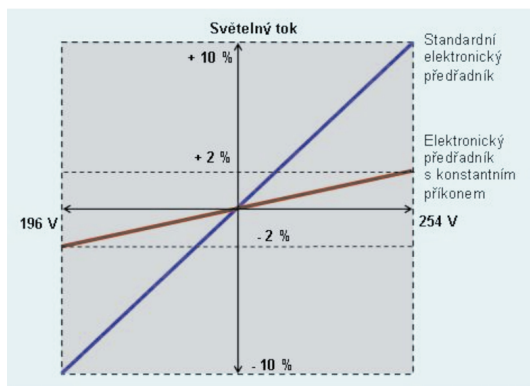
Amplitudová regulace - jedná se rovněž o regulaci napětím. Systém reguluje světelný tok světelného zdroje změnou efektivní hodnoty napětí, ke které dochází změnou amplitudy napětí. Rozsah regulace od 0 do 100 % světelného toku.



Obr. 11.11: Závislost základních parametrů žárovky na napájecím napětí

11.2.5. Stmívání zářivek se stmívatelným elektronickým předřadníkem

Stmíváním zářivek s elektronickým předřadníkem dosáhneme změny parametrů (frekvence, napětí) na výboji. U elektronických předřadníků rozlišujeme v podstatě dva druhy ovládání stmívání a to analogové a digitální. Pomocí stmívatelných elektronických předřadníků dosahujeme plynulé regulace světelného toku zdroje v rozsahu 1 - 100 % u lineárních zářivek a 3 - 100 % u kompaktních zářivek.



Obr. 11.12: Regulace světelného toku u zářivek

11.2.6. Stmívání vysokotlakých výbojek

Stmívat lze především sodíkové výbojky. U těchto zdrojů nám postačí elektronický stmívatelný předřadník nebo tlumivka s odbočkami, případně napájecí transformátor s regulací výstupního napětí. Při přepínání odboček se mění impedance tlumivky a tímto se reguluje světelný tok.

Základní regulace světelného toku soustavy je přepínáním okruhů, nejčastěji v rozsahu 0 %, 50 %, 100 %. U této regulace musíme počítat s teplotní závislostí výboje. Doba chladnutí hořáku ve výbojce pro opětovné zapálení může trvat 10 ÷ 20 minut.

Při stmívání halogenidových výbojek není možné využít klasických systémů regulace pro značnou citlivost vlastního výboje na napětí a proud. Elektronické předřadníky, pracující na kmitočtech až 400 kHz, umožňují celou řadu regulačních stupňů. Důležitou roli zde hraje použitelnost určitých typů halogenidových výbojek pro napájení vysokým kmitočtem.

11.2.7. Světelné diody

Intenzita osvětlení se reguluje elektronicky v předřadníku pomocí pulzní šířkové modulace. Ovládání regulace je možno tlačítky, potenciometry a pomocí digitálních standardů.

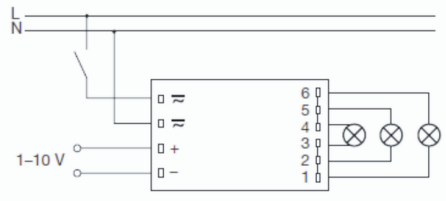


Obr. 11.13: Ukázka regulace tří LED modulů pomocí DALI standardu

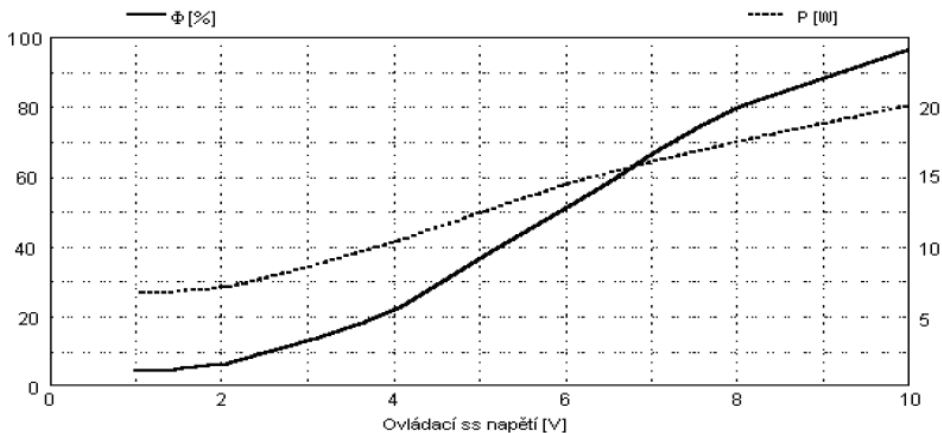
11.3. Řídicí a kontrolní systémy

11.3.1. Analogové řízení

Analogově řízené elektronické předřadníky jsou ovládány úrovní řídicího napětí na vstupu předřadníku. Pro toto ovládání je použito dvou vodičového signálního vedení. U analogového systému dochází k úbytkům napětí na vedení a nemusí být tedy splněna podmínka nastavení všech elektrických předřadníků osvětlovací soustavy na stejnou úroveň. Řídicí napětí je v rozsahu 1 - 10 V.



Obr. 11.14: Regulace halogenových žárovek s elektronickým stmívatelným transformátorem 1 ÷ 10 V



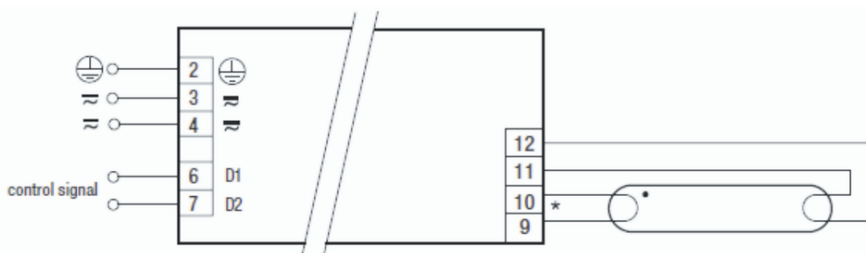
Obr. 11.15: Graf závislosti světelného toku a příkonu na ovládacím napětí

11.3.2. Digitální řízení

Dnes již zaběhlým standardem je digitální řízení elektronických předřadníků. Zde se používá starší rozhraní DSI nebo novější DALI. Výhodou obou (DSI i DALI), oproti analogovému přenosu, je větší odolnost proti rušení a proti přepólování řídicího napětí. DALI rozhraní má možnost zpětného hlášení nefunkčního světelného zdroje. Systémové rozhraní DALI navíc umožňuje uložit světelné scény do paměti přístroje, nejsou tedy zapotřebí další paměťové moduly. Řízení probíhá opět po vedení (sběrnici), ale pomocí digitálního telegramu. Digitálním ovládním je zajištěno nastavení všech stmívatelných předřadníků na stejnou úroveň.

Rozhraní DSI

V DSI (Digital Serial Interface = digitální sériové rozhraní) se převádí signály obslužných elementů (tlačítka, senzory, domovní řídicí systémy atd.) na digitální data a přenáší je k jednotlivým elektronickým předřadným přístrojům. Protože jednotlivé předřadníky jsou řízeny digitálně, je úroveň světelného toku od prvního do posledního svítidla stejná. V digitálním stmívacím systému jsou jednotlivé hodnoty stmívání přiřazeny jedné definované hodnotě světla. Odstupňování je v souladu s logaritmickou křivkou citlivosti oka, vnímání průběhu stmívání okem je proto lineární.



Obr. 11.16: Schéma zapojení stmívatelného elektronického předřadníku DSI

Rozhraní DALI

Vlastní protokol DALI byl vyvinut v polovině devadesátých let mezinárodní elektrotechnickou komisí (International Electrotechnical Commission - IEC). Ovládním pomocí analogových rozhraní, jako je systém 1 - 10 V, neumožňuje ani flexibilitu ani možnost řízení jednotlivých svítidel v osvětlovacím systému. Proto byl vyvinut sběrnicový systém, který umožňuje digitální komunikaci mezi všemi zúčastněnými komponenty v osvětlovacím systému nebo v celých systémech správy budov. Systém DALI je možné integrovat jako subsystém do nadřazeného systému správy budovy.

DALI je akronymum a znamená (Digital Addressable Lighting Interface = digitální adresovatelné světelné rozhraní). Je to mezinárodní norma, která zaručuje vzájemnou kompatibilitu řízených stmívatelných předřadníků od různých výrobců. Rozhraní DALI je uvedeno v normě zářivkového předřadníku IEC 60929 v příloze E. DALI protokol určuje vzájemnou digitální komunikaci mezi jednotlivými prvky osvětlovací soustavy. Jsou zde vypsány parametry přenosu a definovány příkazy pro řízené prvky a jejich odpovědi včetně definice datové struktury. Každý

prvek lze individuálně řídit, protože má svoji předepsanou adresu. Řízené prvky jsou rozděleny podle typů:

- typ 0 - digitální předřadníky pro lineární nebo kompaktní zářivky,
- typ 1 - veškerá zařízení nouzového osvětlení,
- typ 2 - prvky s vysokotlakými výbojkovými zdroji,
- typ 3 - řízené digitální transformátory pro nízkonapěťové halogenové zdroje,
- typ 4 - fázové měniče pro klasické a halogenové žárovky,
- typ 5 - prvky s analogovým výstupem 1 - 10V,
- typ 6 - 255 - rezerva pro další vyvíjené prvky, již dnes jsou k dispozici DALI řadiče pro LED diody, standardně většina výrobců dodává reléové moduly atd.

Systém DALI byl navržen pro:

- max. 64 individuálních jednotek (individuálních adres),
- max. 16 skupin (skupinových adres),
- max. 16 scén (světelných hodnot scén).

DALI sběrnice zároveň napájí všechny prvky v systému a celkový příkon prvků zapojených na DALI sběrnici nesmí překročit 250 mA. Limitní délka sběrnice nesmí překročit 300 m nebo pokles napětí 2 V.

Některé z příkazů DALI protokolu: vypnout, stmívej na úroveň, krok nahoru, nastav aktuální úroveň, krok dolů, nastav výkon na úroveň, zapni a krokuj nahoru, nastav úroveň poruch systému, nastav maximum, nastav čas stmívání, krokuj dolů a vypni, nastav rychlost stmívání, nastav minimum, nastav scénu, odeber ze skupiny.

Některé z příkazů DALI protokolu: aktuální úroveň, typ scény, čas stmívání, maximální úroveň, úroveň poruch systému, příslušnost ke skupině, typ verze, minimální úroveň.

Porovnání analogového ovládání 1 - 10 V versus DALI:

- a) Analogové ovládání 1 - 10 V: galvanické oddělení řídicího rozhraní, dvoudrátové vedení, rozsah stmívání 1 až 100%, není zpětné hlášení, neadresovatelné zařízení, nelze vypínat jednotky pomocí rozhraní.
- b) DALI: galvanické oddělení řídicího rozhraní, dvoudrátové vedení, rozsah stmívání 1 - 100%, zpětné hlášení provozního stavu, skupinové, individuální a vysílací adresy, paměť na uložení scén, programovatelný průběh stmívání, napojení na systém správy budov pomocí konvektorů, snadná nová konfigurace systému a integrace nových komponentů.

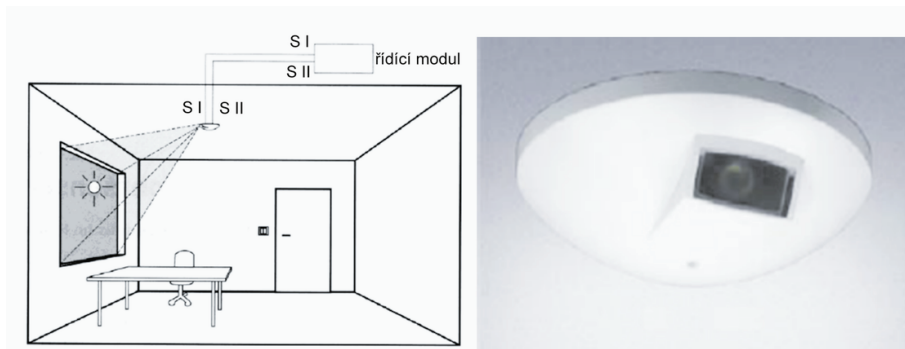
Senzory

Inteligentní řídicí systémy využívají senzory k automatické regulaci umělého osvětlení. Senzory mohou snímat intenzitu denního osvětlení, intenzitu osvětlení

v místnosti a přítomnost osob. Získané informace zpracuje řídicí systém a nastaví míru regulace.

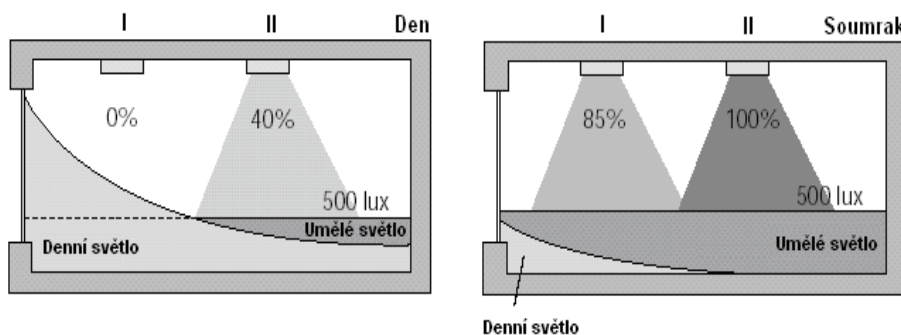
Světelné senzory

Světelné senzory používají pro snímání intenzity osvětlení především fotodiody anebo fototranzistory. Některé typy senzorů mohou přímo ovládat stmívatelné elektronické předřadníky, přičemž nastavení referenční hodnoty osvětlenosti se provádí přímo na senzoru. Napájení senzoru se provádí přímo z předřadníků nebo z řídicích jednotek.



Obr. 11.17: Příklad použití světelného senzoru typ LSD pro snímání osvětlení

Pomocí řídicí jednotky může čidlo ovládat dvě skupiny svítidel (I, II) tak, aby intenzita osvětlení v místnosti byla na konstantní hodnotě v průběhu celého dne.



Obr. 11.18: Řízení osvětlení na konstantní hladinu intenzity osvětlení

Kombinované senzory

Jsou to například senzory, pomocí kterých se reguluje úroveň osvětlení podle denního světla a zároveň podle přítomnosti osob. Například pokud je ve svítidlech umístěn senzor obsahující pohybový a světelný senzor, při dostatečné denní osvětlenosti stmívá na minimální hodnoty osvětlenosti a v místech, kde se nenacházejí žádní pracovníci, pak dojde po nastaveném čase k dalšímu snížení na předem nastavenou hodnotu. Vypnutí těchto svítidel by vytvořilo nepříjemnou atmosféru (černé díry), proto se svítidla jen stmívají. Zaměstnanci pracují v příjem-

ném světelném prostředí a provozovatelé mohou ušetřit náklady na spotřebu elektrické energie.

Součástí těchto kombinovaných senzorů mohou být také IR přijímače pro dálkové ovládání osvětlovací soustavy, které ovšem slouží pouze ke zvýšení komfortu ovládání.



Obr. 11.19: Příklad použití kombinovaného senzoru

11.4. Inteligentní osvětlovací soustavy

11.4.1. Inteligentní systém pro vnitřní řízení KNX

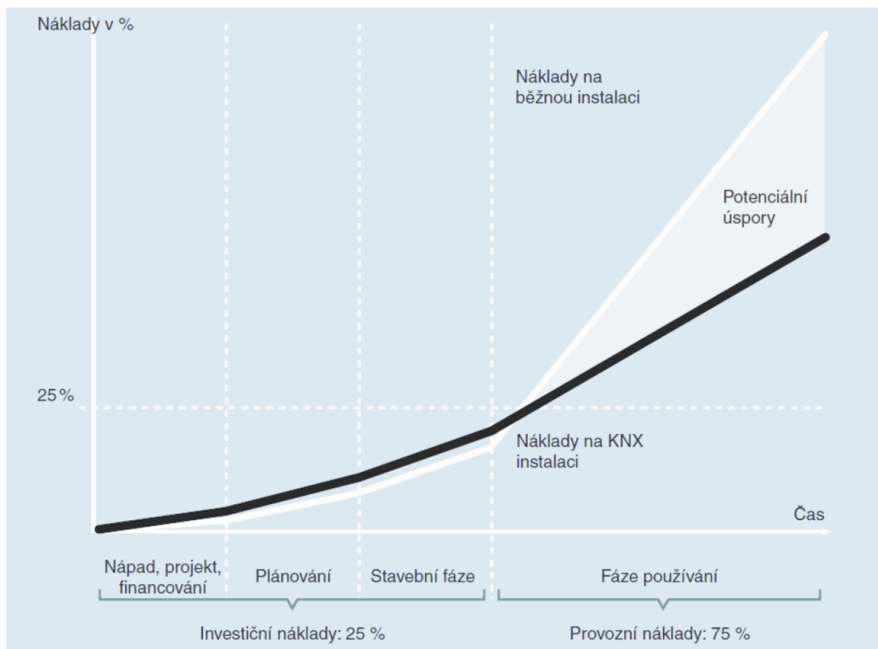
KNX je jediný celosvětový otevřený standard pro automatizaci domácností a systém technologie budov v souladu s EN 50090. Jde o inteligentní systém, který díky čidlům a senzorům přináší vyšší komfort a úsporu energií především u velkých komerčních budov. S výhodou lze tento systém použít u objektů jako jsou administrativní budovy, obchody, banky, hotely, zařízení pro volný čas, sportovní areály, školy, nemocnice, průmyslové budovy a všude tam, kde je kladen důraz na komfort.

U běžných elektrických instalací musíte předem určit, jak a kde budou spínací systémy vaší budovy instalovány, dříve než výstavba vůbec začne, ale u KNX můžete své volby ponechat otevřené. Je tomu tak proto, že vše v systému lze kdykoli změnit nebo rozšířit bez obvyklého nepořádku a pokládání nových kabelů. Navíc jsou všechna zařízení a instalace technologie budovy propojeny pomocí jediného sběrnicevého vedení. Sběrnicevé vedení je položeno paralelně k napájecímu vedení 230 V. Pokud aktivujete čidlo (např. tlačítko), akční člen (např. ovládání svinovací žaluzie) provede všechny potřebné přepínací povely.

Důkladné naplánování elektrické instalace je velice důležité. Sběrnicevé vedení by mělo být položeno dříve, než je postaven první podhled. A všude tam, kde plánujete umístit spínače světel, výstupy svítidel, zásuvky atd., by měl být položen souběžně se silovým kabelem i kabel pro inteligentní řízení. Náklady jsou minimální, přínos obrovský. Díky tomu máte v průběhu celé životnosti budovy volnost v propojování požadovaných funkcí technologie budovy.

I když se při plánování stavby může zdát cena KNX řešení dražší než běžné řešení, náklady výrazně klesnou poté, co je objekt předán do užívání. Důvodem je, že počáteční investiční náklady pokrývají průměrně pouze cca 25% veškerých nákladů budovy. Provozní náklady představují cca 75 %. A právě zde lze dosáhnout

nout velkých úspor. Zjistíte, že se vaše potřeby, co se týče řízení provozu budovy, postupem času mění. Může k tomu dojít díky tomu, že soukromý dům bude obydlený několika generacemi, nebo že místnosti v komerční nemovitosti jsou poskytnuty jiným uživatelům, novým nájemníkům nebo novým majitelům.



Obr. 11.20: Přehled nákladů

Flexibilita

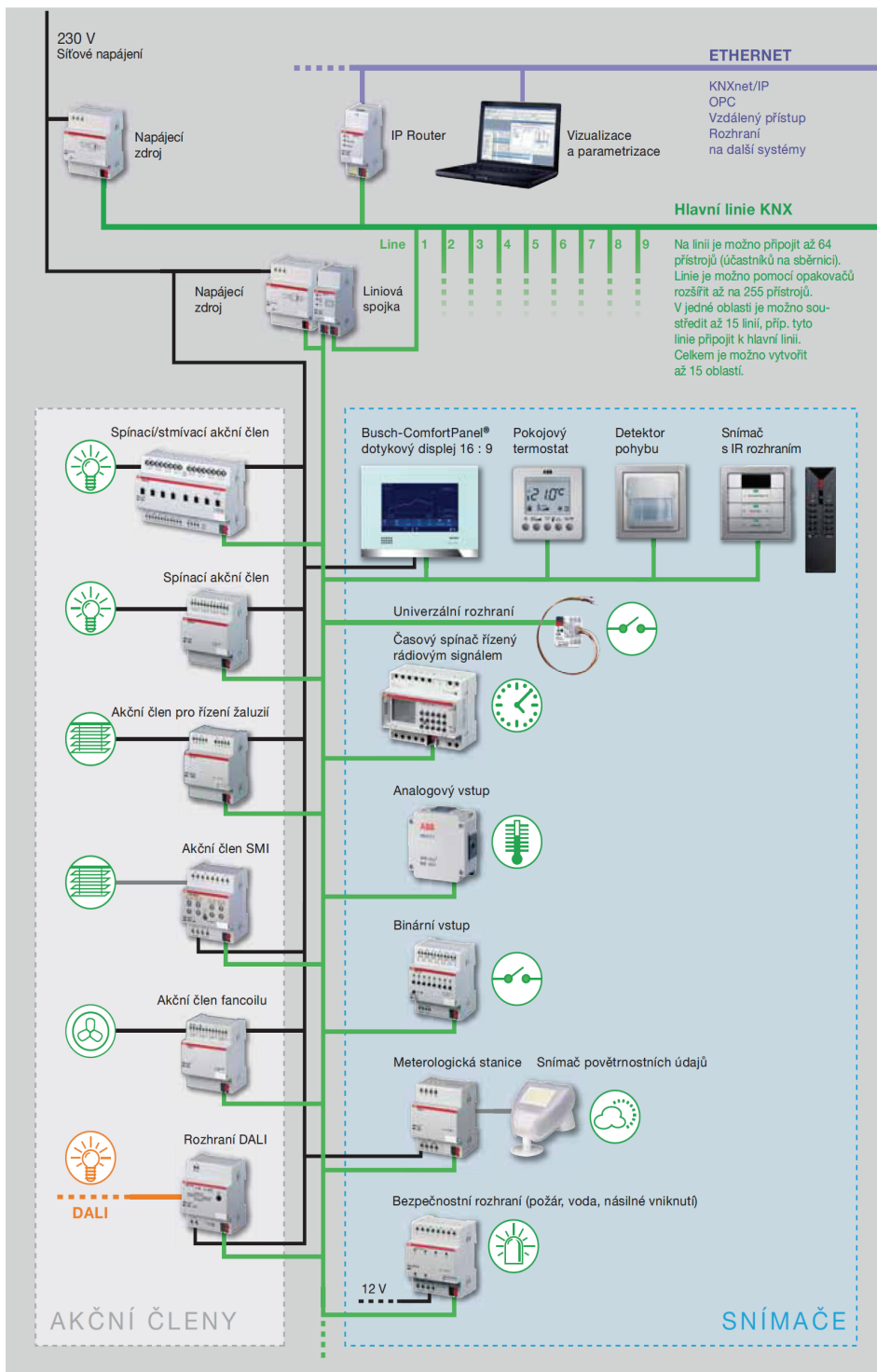
Uvážíme-li, že většina budov je navržena pro užívání po několik desetiletí, je nevyhnutelné, že dříve nebo později se využití jejich místností změní. Řešení je zřejmé: mít možnost snadno měnit funkce budovy podle momentálních potřeb uživatelů, bez bourání zdí a pokládání nových kabelů, při vynaložení nízkých nákladů.

Bezpečnost a zabezpečení

Technologie budovy musí rychle a inteligentně reagovat ve všech kritických situacích, i bez přítomnosti obsluhy. Běžné elektrické instalace mají však omezené možnosti a brzy dosáhnou svých limitů.

Efektivita nákladů

Při zvažování efektivity nákladů není rozhodující pouze prvotní stavební investice, ale také následující provozní náklady. Platí, že technologie budovy šetří finanční prostředky více tím, že je flexibilní a může být pružně a levně přizpůsobena novým požadavkům. Když vezmeme v úvahu neustále se zvyšující tlak na ochranu životního prostředí a stoupající ceny energií, je jasné, že je nutno do projektu rovněž začlenit inteligentní řešení pro efektivní využívání energie.



Obr. 11.21: Schéma inteligentního systému

11.5. Literatura ke kapitole

- [1] Sokanský K. a kol.: Inteligentní řízení osvětlovacích soustav vnitřního osvětlení, ČSO RS Ostrava, 2003.
- [2] Dostupné z URL: <www.philips.cz>.
- [3] Dostupné z URL: <www.tridonic.com>.
- [4] Dostupné z URL: <www.luxart.cz>.
- [5] Dostupné z URL: <www.osram.cz>.
- [6] Dostupné z URL: <www.abb.cz>.
- [7] Habel, J. a kol.: Světelná technika a osvětlování. FCC Public, Praha, 1995.
- [8] Dostupné z URL: <www.schneider-electric.cz>.
- [9] Bláha Z.: Inteligentní systémy řízení venkovního osvětlení, Kurz osvětlovací techniky XXVIII, 2010
- [10] Dostupné z URL: <www.thornlighting.cz>.

12. Ekonomika provozu osvětlovacích soustav

12.1. Veřejné osvětlení

12.1.1. Provoz osvětlovacích soustav

Provozními náklady zařízení veřejného osvětlení jsou všechny náklady vynaložené na výkon správy veřejného osvětlení, včetně zajištění nepřetržitého poruchového dispečinku a zásahové poruchové služby, na úhradu spotřebované elektrické energie, na zajištění údržby, na zabezpečení periodických revizí, provozně technických dokumentací a na zpracování a aktualizaci pasportu veřejného osvětlení (do digitální mapy dané lokality).

Výše nákladů za správu veřejného osvětlení je předmětem smluvního vztahu mandanta (vlastníka veřejného osvětlení) a mandátáře (subjektu, který správu veřejného osvětlení vykonává) a je proměnná podle skutečných nákladů (vliv má počet pracovníků správy, jejich mzdové a ostatní náklady, provoz dispečinku veřejného osvětlení apod.). Orientačně se tyto náklady pohybují v řádu 10 % z celkového objemu nákladů údržby veřejného osvětlení.

Náklady na spotřebovanou elektrickou energii

V případě veřejného osvětlení se jedná každoročně o pravidelný odběr podle každoročně stejného spínacího kalendáře. Roční objem provozu v ČR je asi 4100 hodin. Správce zařízení, zná-li osazení osvětlovací soustavy jednotlivými světelnými zdroji, a umí jednoduše vypočítat celkovou roční spotřebu elektrické energie provozované soustavy veřejného osvětlení, včetně slavnostního a příležitostného osvětlení (jako Vánoce, výročí a slavnosti města), a podle aktuální ceny v příslušné sazbě a propočtu paušálních plateb za předřazené jištění rozvaděče veřejného osvětlení (RVO) a distribuci, stanovit finanční objem pro daný kalendářní rok.

Náklady na zajištění údržby veřejného osvětlení

Jedná se o podstatnou část provozních nákladů, která má rozhodující vliv na provozuschopnost a technický stav zařízení veřejného osvětlení. Měřítko pro optimální výši těchto nákladů v současné době není a tomu také odpovídá to, že výdaje na údržbu veřejného osvětlení různých měst jsou v rámci republiky mnohdy hodně odlišné. Rozhodují momentální možnosti rozpočtu města či obce - dosavadní zavedený trend, více než by rozhodovala skutečná potřeba zařízení. [1]

12.1.2. Investiční a provozní náklady

Příklad výpočtu očekávaných investičních nákladů pro přesně specifikovanou lokalitu a již předběžně navrženou osvětlovací soustavu:

Investiční náklady [10]

$$IN = \frac{pn \cdot pp \cdot k_1 + n \cdot (lpr + lapr) + S \cdot H_{sv} \cdot k_2}{S} \quad (12.1)$$

kde IN – vypočtený investiční náklad; pn - počet stožárů; pp - jednotková cena stožáru (zahrnuje cenu instalace - Kč/ks); k_1 - faktor umístění stožáru (náročnost def. terénních úprav v místě), n - počet svítidel; lpr - jednotková cena svítidla (zahrnuje cenu montáže - Kč/ks); lapr - jednotková cena zdroje (Kč/ks); S - rozteč stožárů (m); H_{sv} - cena hlavního přívodu elektrické energie (Kč/silniční metr); k_2 - faktor umístění hlavního přívodu elektrické energie (dtto jako u k_1).

12.1.3. Údržba osvětlovacích soustav

Náklady na údržbu [10]

$$MC = \frac{\left[n \cdot Pi \cdot he \cdot 10^{-3} \cdot bh + \frac{(\ln \cdot H_1 \cdot k_3)}{If} + q \cdot \ln \cdot H_{ly} \cdot k_3 n \right] + pn \cdot pm \cdot k_4}{S} \quad (12.2)$$

kde MC – vypočtený náklad na údržbu; n - počet svítidel; Pi - výkon svítidla (kW); He - cena za 1 kWh elektrické energie (Kč); bh - roční doba provozu; ln - počet zdrojů; H_1 - náklady na skupinovou výměnu zdrojů (s čištěním svítidla) (Kč/ks); k_3 - faktor umístění; If - doba života zdroje; q - procentní podíl vyměněných zdrojů; H_{ly} - náklady na výměnu zdroje (Kč / ks); pn - počet stožárů (stožáry ve vlastnictví města); pm - náklady na údržbu stožáru na km (Kč); k_4 - faktor skupinové údržby; S - rozteč stožárů (m).

12.1.4. Energetické požadavky

Řízení systému veřejného osvětlení vyžaduje pravidelné vyhodnocování nákladů na energii a údržbu, porovnávání osvětlení s projektovanými hodnotami a optimalizaci činností spojených s provozem a údržbou VO. Tyto činnosti vedoucí k energetické a tedy i provozní optimalizaci nazýváme energetickým managementem.

V rámci energetického managementu se řeší energetická optimalizace provozu systému veřejného osvětlení. Energetická optimalizace se skládá z několika dílčích kroků, jako jsou energetická optimalizace vlastní osvětlovací soustavy, regulace osvětlení nasazením regulačních systémů a optimalizace systému řízení a monitorování, tzn. aplikace telemanagementu.

Vzhledem ke skutečnosti, že osvětlení komunikací lze přizpůsobit hustotě provozu, aplikují se dnes systémy plynulé regulace. Jejich použitím dochází k redukci odběru elektrické energie v době sníženého provozu. Celková míra úspor spotřeby elektrické energie se pohybuje na úrovni 20 – 30 %. Kromě energetických

úspor dochází i ke snížení nákladů na údržbu (výměnu výbojek) tím, že se regulací prodlouží jejich životnost až na dvojnásobek.

Komplexní dohledové systémy umožňují centralizovat informace do řídicího velínu a ve spolupráci s pasportem VO v digitální podobě průběžně evidovat veškeré činnosti a provádět statistická vyhodnocení za zvolené časové období. Takové systémy jsou základem efektivní a systémové údržby, provozu a obnovy osvětlovacích systémů veřejného osvětlení.

12.1.5. Technicko-ekonomické ukazatelé

Výkonnostní ukazatelé sledují, zpřehledňují hospodaření s majetkem, usnadňují komunikaci se správcem soustavy VO a poskytují manažerský pohled na majetek. Může se dle nich činit rozhodnutí a plánovat budoucí investice. Těchto ukazatelů může být libovolné množství, je však vhodné zvolit ukazatele tak, aby se mohly důsledně sledovat a vyhodnocovat za určitá období. Příliš velkým počtem ukazatelů zbytečně zatěžujeme hodnotící správu a je třeba zvážit, zda sledování ukazatelé vůbec něco podstatného a důležitého sdělují. Na druhou stranu malé množství ukazatelů nemusí obsáhnout všechny potřebné a důležité parametry. Priority KPI (klíčoví ukazatelé výkonnosti procesů) se liší dle provozního modelu správy VO, pro přenesenou správu jsou podstatné investice a provoz, pro vlastní správu jsou zase důležité energetické KPI. Výkonnostní ukazatele KPI můžeme definovat a rozdělit např. takto:

Technické

- Kvantitativní
 - Základní (vypovídají o skutečném stavu soustavy VO)
 - Počet světelných míst
 - Počet rozvaděčů
 - Délka napájecích kabelů
 - Provozní (primárně sledují změny vyplývající z rekonstrukcí, obnovy a výměny části soustavy VO)
 - Počet rekonstruovaných světelných míst
 - Světelná místa opravená v rámci preventivní údržby
 - Počet vyměněných světelných zdrojů
- Kvalitativní (odráží změnu kvality soustavy VO)
 - Průměrné stáří prvků VO
 - Nesvítící světelná místa
 - Instalovaný příkon na jedno světelné místo

Ekonomické

Vlastníkovi soustavy VO ukazují efektivnost vynaložených finančních prostředků v oblasti investic a provozu, sledujeme je buď v čase nebo ve srovnání s jinými správci VO.

- Investice
- Běžná údržba
- Preventivní údržba
- Elektrická energie

12.2. Vnitřní osvětlení

12.2.1. Provoz a údržba osvětlovacích soustav

V průběhu provozu osvětlovací soustavy dochází k postupnému snížení jejího užitečného světelného toku v důsledku usazování nečistot na povrchu soustavy a jejího stárnutí. Míra celkového snížení světelného toku je ovlivněna výběrem zařízení, okolními a provozními podmínkami. Při vypracování světelnětechnického projektu je nutno s těmito případy počítat zavedením udržovacího činitele a pomocí vhodného plánu údržby toto znehodnocení omezit. Norma na osvětlení vnitřních pracovních prostorů doporučuje stanovení minimální hodnoty udržovacího činitele. Osvětlovací soustava má být projektována s celkovým udržovacím činitelem vypočítaným pro vybrané osvětlovací zařízení, okolní prostředí a předepsaný plán údržby. Vysoký udržovací činitel společně s vhodným plánem údržby podporuje energeticky efektivní návrh osvětlovací soustavy a omezuje požadavky na instalovaný světelný výkon.

Údržba všech osvětlovacích soustav je velmi důležitá, protože zachovává její výkonnost v projektovaných mezích a podílí se nejen na provozní bezpečnosti, ale vede i k hospodárnému využití elektrické energie. [1]

Udržovací činitel

Udržovací činitel je definován jako podíl průměrné osvětlenosti pracovní roviny po určité době používání osvětlovací soustavy a průměrné osvětlenosti soustavy, kterou lze považovat za novou.

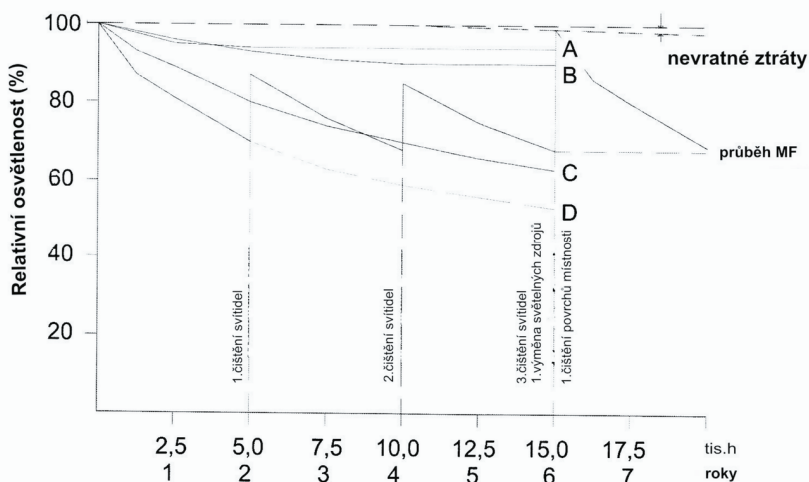
Osvětlenosti, navrhované v projektech osvětlení, vycházejí z udržované osvětlenosti, což je průměrná osvětlenost za určitou dobu používání, po jejímž uplynutí musí být provedena údržba. Osvětlovací soustavy mají z hlediska údržby rozdílné charakteristiky a ty by měly patřit k důležitým ustanovením učiněným v počátečních stádiích vypracování projektu.

Všechny osvětlovací soustavy v budovách se od okamžiku jejich uvedení do provozu postupně znehodnocují. Ztráty jsou způsobeny usazováním nečistot a prachu na všech nechráněných površích světelných zdrojů, svítidel i na stěnách místnosti, čímž se snižují jejich činitelé prostupu nebo odrazu a dále úbytkem světelného toku světelných zdrojů, jejich vyhořením a stárnutím povrchů místnosti. Pokud není tento proces zohledněn, dochází ke snížení osvětlenosti na velmi nízké úrovni.

ké hodnoty, jak ukazuje obr. 12.1 a soustava se tak stává energeticky nevykonnou, nevzhlednou a nebezpečnou. Vzhledem k tomu, že snížení osvětlenosti je postupné, nemusí je personál hned zpozorovat. Toto postupné snižování osvětlenosti však může za nějakou dobu vyvolat zrakovou únavu, zvýšit množství omylů a chyb v práci. Úlohy trvají déle a mohou se vyskytnout i úrazy.

Pravidelná údržba je tedy pro efektivní osvětlovací soustavu nejdůležitější. Soustava nemá být pouze správně a důkladně čistěna, ale čištění by mělo být prováděno v pravidelných intervalech. To zajistí vyhovující vzhled i pohodu pro uživatele.

Nicméně i při správném projektovém řešení a provozním plánu údržby je určitý úbytek osvětlenosti nevyhnutelný. Tuto ztrátu nutno je odhadnout již v etapě projektování osvětlovací soustavy a do jejího výpočtu zahrnout příslušnou opravu ve formě udržovacího činitele. [1]



Obr. 12.1: Příklad změny osvětlenosti osvětlovací soustavy v závislosti na době provozu [11]

kde A – příklad křivky stárnutí povrchů místnosti; B – příklad křivky stárnutí světelného zdroje (zářivka s třípásmovým luminoforem provozovaná na vysoké frekvenci); C – příklad křivky stárnutí svítidla (svítidlo typu C v čistém prostředí); D – pokles světelného toku neudržované soustavy; MF - průběh projektovaného udržovacího činitele znázorňující relativní udržovanou osvětlenost.

Faktory ovlivňující celkového udržovacího činitele

Ke ztrátě světelného toku přispívá několik faktorů a jejich vliv a závažnost se mění podle typu činnosti a podle místa. Např. různé oblasti se liší podle rozsahu znečištění a typu nečistot ve vzduchu. Množství nečistot ve slévárně je větší než v klimatizovaném úřadu. Avšak množství a typ nečistot v úřadu, nacházejícím se v blízkosti průmyslové oblasti, se liší od úřadu nacházejícího se na venkově. Černá

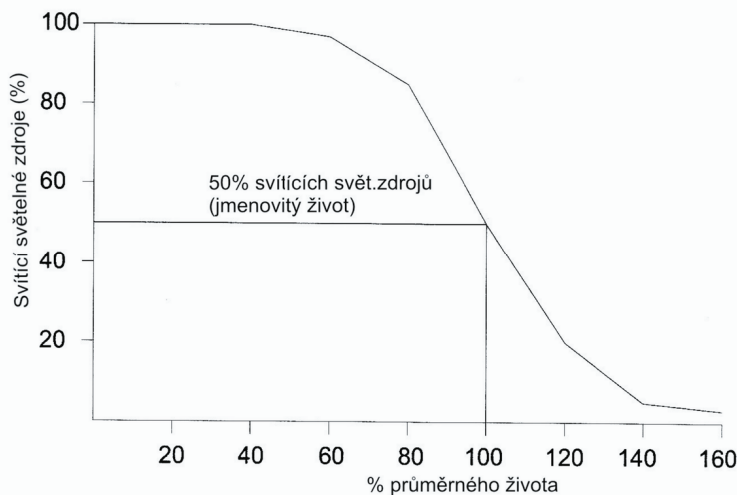
špína v ocelárně je naprosto odlišná od relativně světlé špíny v pekárně. Proto je důležité při stanovení ztrát světelného toku tyto rozdíly rozlišit. [1]

Činitel stárnutí světelného zdroje

Činitel stárnutí světelného zdroje je podíl světelného toku světelného zdroje v dané době jeho života a počátečního světelného toku. Světelný tok všech druhů světelných zdrojů klesá s počtem hodin svícení. Přesné hodnoty závisí na konkrétním typu světelného zdroje a u výbojových zdrojů rovněž na předřadných obvodech. Ztráty způsobené tímto jevem mohou být sníženy častější výměnou světelných zdrojů (např. skupinovou výměnou). Pro stanovení udržovacího činitele a plánu údržby je velmi důležité získat aktuální údaje od výrobce, zejména v případě použití nových typů světelných zdrojů. Je třeba dodat, že časté vypínání a zapínání světelných zdrojů zkracuje jejich životnost. [1]

Činitel funkční spolehlivosti světelného zdroje

Činitel funkční spolehlivosti světelných zdrojů představuje pravděpodobnost toho, že světelné zdroje budou po určitou dobu v provozu. Charakterizuje část velké reprezentativní skupiny daného typu světelných zdrojů, které po určité době zůstávají v provozu. Počet svítících zdrojů závisí na jejich typu a v případě výbojových zdrojů na četnosti zapínání a na předřadném obvodu. Obvykle je život světelných zdrojů deklarován jako doba v hodinách, kdy ještě 50 % zdrojů zkušebního souboru zůstává funkčních viz obr. 12.2. Vyhořelé světelné zdroje způsobují snížení osvětlenosti a její rovnoměrnosti, avšak tento vliv může být minimalizovaný okamžitou výměnou vadných zdrojů. Hodnoty činitele funkční spolehlivosti by měly být používány ve spojitosti s hodnotami činitele stárnutí světelných zdrojů z důvodu stanovení jejich ekonomického života. Jmenovitý technický život je často podstatně delší než život ekonomický. [1]



Obr. 12.2: Typická křivka vyhoření světelných zdrojů pro statistický soubor lineárních zářivek v režimu 8 zapnutí za 24 hodin [11]

Udržovací činitel svítidla

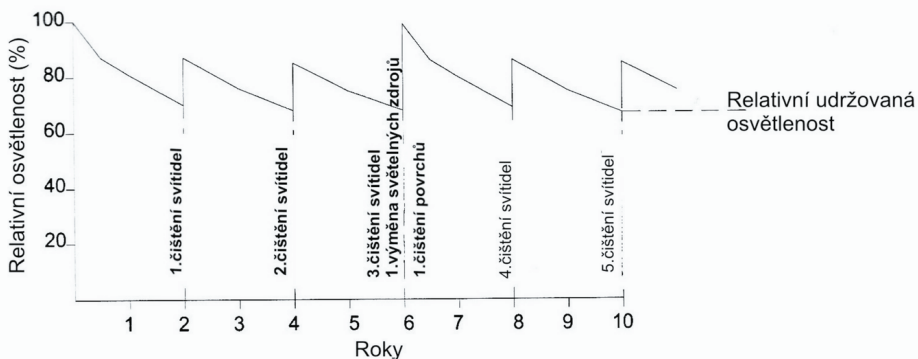
Udržovací činitel svítidla charakterizuje snížení účinnosti svítidla způsobené nečistotami usazenými na světelných zdrojích a na svítidlech anebo v nich za dané období. Míra snížení závisí na konstrukci svítidla a na povaze a koncentraci nečistot obsažených ve vzduchu. Černé nečistoty a prach způsobují všeobecně největší ztrátu světla. U průmyslových osvětlovacích soustav a při dlouhých intervalech čištění nejsou neobvyklé ani 50 % ztráty způsobené znečištěním. Výše ztrát závisí dále na provedení a materiálu svítidla, na jeho povrchové úpravě a na typu světelného zdroje. Větraná svítidla zachycují méně nečistot, pokud jsou otvory orientovány tak, že konvekční proud vzduchu může unášet prach a nečistoty kolem optických prvků a světelných zdrojů (někdy uváděno jako samočisticí účinek), a zabráňuje tak jejich usazování a hromadění na odrazných a svítících plochách. Usazování nečistot na odrazných plochách může být minimalizováno utěsněním této části svítidla proti vniknutí prachu a vlhkosti, v níž se nachází světelný zdroj. Podstatnou výhodou je, pokud svítidlo a jeho optické části mají krytí alespoň IP54. Povrchová úprava svítidel se liší z hlediska odolnosti proti hromadění nečistot. Např. leštěný a eloxovaný hliník zůstává čistý po delší dobu než bílý smalt. Usazování prachu má rovněž vliv na rozložení svítivosti svítidla a v některých případech se může změnit zrcadlová plocha reflektoru na matnou a prizmatický refraktor na rozptylovač. [1]

Udržovací činitel povrchů

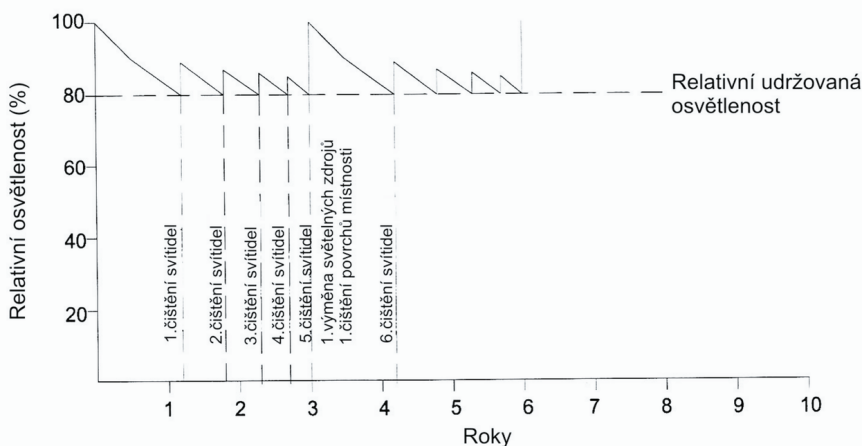
Udržovací činitel povrchů je podíl činitele odrazu povrchu místnosti v dané době a počátečního činitele odrazu. Udržovací činitel povrchů může být rovněž definován jako podíl světelné účinnosti prostoru pro danou soustavu po určité době provozu ke světelné účinnosti prostoru téže soustavy, když byla nová anebo po jejím posledním čištění. Udržovací činitel povrchů závisí na rozměrech místnosti, na činitelích odrazu všech povrchů a na rozložení přímého světelného toku instalovaných svítidel. Udržovací činitel povrchů závisí rovněž na povaze a koncentraci prachu přítomného nebo vznikajícího v místnosti. Usazování nečistot na površích místnosti během provozu snižuje využitelné množství odraženého světla. Zatímco pravidelné čištění a malování stěn a stropu je žádoucí u všech soustav, častější čištění a malování by mělo být prováděno v místech, kde se velký podíl světla k místu plnění zrakové úlohy dostává odrazem od povrchů místnosti nebo závěsů, obrazů a nábytku. Čisté povrchy napomáhají jasové rovnováze prostředí. [1]

Plán údržby

Každá osvětlovací soustava musí být projektována s použitím celkového udržovacího činitele vypočítaného pro vybrané světelnětechnické vybavení, okolní prostředí a zvolený plán údržby. Plán údržby musí obsahovat interval čištění světelných zdrojů, svítidel a povrchů místnosti, interval výměny světelných zdrojů a způsob čištění. Údržba může být nastavena na program stejných nebo proměnných intervalů. Program stejných intervalů stanovuje pravidelné čištění a obsluhu viz obr. 12.3, zatímco program s proměnným intervalem údržby počítá s čištěním v nestejných intervalech viz obr. 12.4. Program s proměnnými intervaly je výhodný zejména tam, kde počáteční náklady na osvětlovací soustavu a na energii jsou vysoké, avšak náklady na údržbu jsou nízké, protože podle něho vychází poněkud vyšší udržovací činitel než u metody stejných intervalů. [1]



Obr. 12.3: Plán údržby se stálým intervalem čištění [11]



Obr. 12.4: Plán údržby s proměnným intervalem čištění [11]

12.2.2. Investiční a provozní náklady

Investiční a provozní náklady lze stanovit podle různých kalkulačních norem.

Náklady na osvětlení dle [10]

Jednotkové náklady na získání jednotkového světelného množství v Kč/lm/h se stanoví podle následující rovnice:

$$U_{lamp} = \frac{1000}{\phi_{lamp}} \left[\frac{1000 \cdot (C_{lamp} + C_{labor})}{L_{lamp}} + P_{lamp} \cdot C_{energy} \right] \quad (12.3)$$

kde U_{lamp} - jednotkové náklady na produkci světla pro světelný zdroj (Kč/lm/hod);
 ϕ_{lamp} - světelný tok světelného zdroje; C_{lamp} - cena světelného zdroje (Kč);

C_{labor} - náklady na práci (výměnu jednoho světelného zdroje); L_{lamp} - průměrná životnost světelného zdroje (h); P_{lamp} - jmenovitý příkon světelného zdroje (včetně předřadníku); C_{energy} - náklady na energii (Kč/kWh).

Náklady na osvětlení dle [6]

Výpočtem můžeme určit první důležitou hodnotu posuzování, což je cena 1 hodiny provozu světelného zdroje:

$$N_p = \frac{N_{zd}}{t_{zd}} \quad (12.4)$$

kde N_{zd} - cena světelného zdroje (Kč); t_{zd} - technický život (h) – hodnota středního technického života, při které je v provozu alespoň 50% všech zdrojů – údaj lze vyčíst v katalogovém listu světelného zdroje.

Dalším údajem, který potřebujeme znát je celkové světelné množství zdroje, které se určí z rovnice:

$$m_\phi = \phi_{zd} \cdot t_{zd} \quad (12.5)$$

kde Φ_{zd} - světelný tok zdroje (lm).

Dále se podobně vypočítá celkový náklad za odebranou energii během technického života zdroje.

$$N_{el} = A \cdot (P_{zd} + \Delta P_t) \cdot t_{zd} \cdot 10^{-3} \quad (12.6)$$

kde A - průměrná cena za kWh (Kč/kWh); P_{zd} - celkový příkon (kW).

Celkový náklad na provoz světelného zdroje se určí ze vztahu:

$$N_c = N_{zd} + N_{el} \quad (12.7)$$

Pro srovnání jednotlivých typů světelných zdrojů je však rozhodující, kolik stojí vyprodukované jednotkové množství světelného toku. S využitím rovnic 12.5 a 12.7 se určí náklad na jeho jednotkové světelné množství:

$$N_{ct} = \frac{N_c}{m_\phi} = \frac{N_{zd} + A \cdot (P_{zd} + \Delta P_t) \cdot t_{zd} \cdot 10^{-3}}{\phi_{zd} \cdot t_{zd}} \quad (12.8)$$

kde ΔP_z - výkonová ztráta předřadníku (kW).

Roční provozní náklady na osvětlovací soustavu dle [6]

U všech osvětlovacích soustav se celkové náklady na dobu trvání ročního provozu skládají ze tří složek:

$$N_c = N_i + N_E + N_p \quad (12.9)$$

kde N_c - celkový náklad na provoz osvětlovací soustavy (Kč); N_i - roční odpisy včetně úrokové míry (Kč); N_E - náklad na elektrickou energii odebranou osvětlovací soustavou za rok (Kč); N_p - provozní náklad na osvětlovací soustavu za roční provoz (Kč).

Již z výčtu uvedených dílčích nákladů na provoz osvětlovací soustavy je zřejmé, že v souhrnu zde působí složka nákladů nezávislá na době provozu této soustavy:

$$N_i = n_1 \left[\frac{\left(\frac{P_1}{100}\right) \cdot N_R + \left(\frac{P_2}{100}\right) \cdot N_{sv}}{n_2} \right] \quad (12.10)$$

kde n_1 - celkový počet světelných zdrojů (ks); N_R - celkový investiční náklad na elektrickou instalaci pro svítidlo včetně předřadníku (Kč); N_{sv} - celková cena svítidla včetně montáže (Kč); n_2 - počet světelných zdrojů ve svítidle (ks); p_1 - odpisové procento včetně úrokové míry pro rozvody a předřadné přístroje (%); p_2 - odpisové procento včetně úrokové míry pro svítidlo (%).

Druhou složku na provoz osvětlovací soustavy tvoří proměnné náklady na spotřebovanou elektrickou energii:

$$N_E = n_1 \cdot t_p \cdot P \cdot A \cdot 10^{-3} \quad (12.11)$$

kde t_p - doba celkového trvání provozu osvětlovací soustavy (h); P - příkon světelného zdroje včetně předřadníku (W); A - průměrná cena elektrické energie (Kč.kWh).

Třetí složku činí proměnný náklad na údržbu svítidel. V tom je zahrnuta nejen cena zdroje a jeho výměna, ale i náklad na vlastní čištění svítidla. Provozní složka se určí následně:

$$N_p = n_1 \left[t_p \left(\frac{N_{zd} + N_{vzd}}{t} \right) + \frac{R}{n_2} \right] \quad (12.12)$$

kde N_{zd} - cena světelného zdroje (Kč); N_{vzd} - průměrná cena výměny světelného zdroje (Kč); t - doba života světelného zdroje (h); R - průměrný náklad na vyčištění 1ks svítidla (Kč).

V základním ekonomickém hodnocení osvětlovacích soustav se pak jako nejvhodnější ukáže ta varianta, která při dodržení podmínek vizuální kvality umožní dosáhnout minima ročních provozních nákladů N_c . V celosvětové technické praxi se ekonomické hodnocení osvětlovacích soustav stává neoddelitelnou součástí každého světelnětechnického návrhu.

12.2.3. Technicko-ekonomické ukazatele

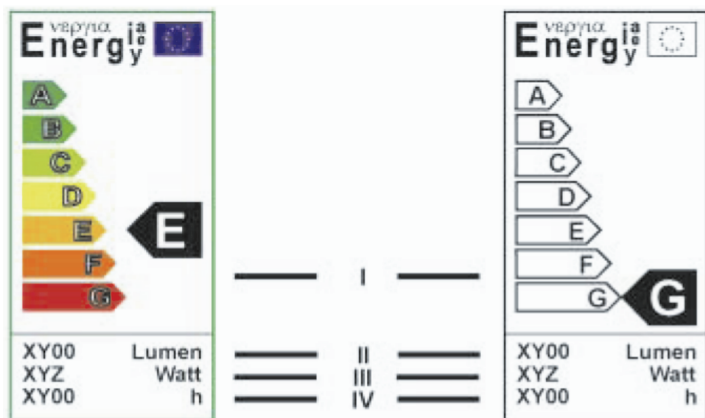
Označování světelných zdrojů energetickými štítky [1]

Vyhláška č. 442/2004 Sb., kterou se stanoví podrobnosti označování energetických spotřebičů energetickými štítky a zpracování technické dokumentace, jakož i minimální účinnost užití energie pro elektrické spotřebiče uváděné na trh, zasahuje svou účinností také do oblasti světelných zdrojů.

Povinnost označování se týká elektrických zdrojů světla napájených z elektrické sítě. Jedná se o žárovky a integrální kompaktní zářivky a zářivky pro domácnost včetně lineárních a neintegrálních kompaktních zářivek.

Povinnost se nevztahuje na světelné zdroje se světelným tokem vyšším než 6500 lm, světelné zdroje s příkonem nižším než 4 W, reflektorové žárovky a zdroje světla pro použití s jinými zdroji energie, např. bateriemi.

Energetický štítek musí obsahovat třídu energetické účinnosti světelného zdroje (I), světelný tok světelného zdroje – pokud je tento údaj jinde na obalu světelného zdroje, může být na štítku vypuštěn (II), příkon světelného zdroje (ve wattech) - pokud je tento údaj jinde na obalu světelného zdroje, může být na štítku vypuštěn (III) a jmenovitou střední dobu života zdroje světla - pokud je tento údaj jinde na obalu světelného zdroje, může být na štítku vypuštěn (IV).



Obr. 12.5: Příklad energetického štítku světelného zdroje

Pro racionalizaci světelných zdrojů je velmi důležité určení třídy energetické účinnosti světelných zdrojů.

Požadavky na energetické účinnosti předřadných přístrojů pro zářivky

Všechny předřadníky se nyní třídí podle hospodárnosti ve spotřebě elektrické energie. Toto třídění se provádí podle indexu energetické účinnosti (EEI-CELMA) a je rozděleno do sedmi kategorií, ve kterých jsou přesně definovány maximální příkony předřadníků pracujících v kombinaci s konkrétními typy zářivek. V tab. 12.1. je uveden názorný přehled typů předřadných přístrojů podle jejich třídy energetické účinnosti.

TŘÍDA	DRUH
D	Magnetické předřadníky s vysokými ztrátami
C	Standardní magnetické předřadníky
B2	Nízkoztrátové magnetické předřadníky
B1	Super - nízkoztrátové magnetické předřadníky
A3	Elektronické předřadníky
A2	Nízkoztrátové elektronické předřadníky
A1	Stmívatelné elektronické předřadníky

Tab. 12.1: Třídy energetické účinnosti jednotlivých typů předřadníků

V České republice lze prodávat předřadníky k zářivkám pouze v třídě energetické účinnosti B2 a lepší. Předřadníky v třídě energetické účinnosti C a D se již prodávat nemohou. [1]

12.2.4. Energetické požadavky - výpočet energie pro osvětlení

Energetická náročnost budov je definována evropskou normou EN 15217, která také popisuje základní principy, rámce vyjádření a výpočty energie spotřebované v budovách. Energetická náročnost budovy je vyjádřena pomocí globálního indikátoru. Každý členský stát EU si může zvolit globální indikátor z následujících čtyř možností (emise CO₂; dodaná energie; primární energie; celkové náklady na energii). Pro Českou republiku byla jako globální indikátor zvolena dodaná energie. Energetická náročnost budovy je tedy vyjádřena množstvím dodané energie.

Celková roční dodaná energie se při bilančním hodnocení dle [9] stanoví jako součet jednotlivých vypočtených dílčích spotřeb dodané energie pro všechny časové intervaly v roce a pro všechny vytápěné, chlazené, větrané, osvětlené či klimatizované zóny budovy. Jsou stanoveny jednotlivé dílčí energetické náročnosti budovy, které po sečtení tvoří celkovou energetickou náročnost budovy.

$$EP = EP_H + EP_C + EP_{DHW} + EP_{light} + EP_{Aux} \quad (12.13)$$

kde EP – vypočtená celková roční dodaná energie (GJ-rok⁻¹); EP_H – dílčí energetická náročnost vytápění; EP_C - dílčí energetická náročnost chlazení; EP_{DHW} - dílčí energetická náročnost přípravy teplé vody; EP_{light} - dílčí energetická náročnost osvětlení; EP_{Aux} - dílčí energetická náročnost větrání.

Význam umělého osvětlení vyplývá ze skutečnosti, že tento druh spotřeby elektřiny velmi výrazně ovlivňuje celkovou spotřebu elektrické energie v době energetických špiček, a to zejména v zimním období. Potvrzují to i výsledky odborných šetření a průzkumů Státní energetické inspekce, podle níž se umělé osvětlení může při maximu svého příkonu podílet na příkonu celé elektrizační soustavy ČR i více než 20 %.

Z tohoto důvodu je nezbytné neustále narůstající kvantitativní a kvalitativní požadavky na umělé osvětlení řešit s maximální hospodárností při respektování hlediska minimalizace energetické náročnosti. Na tomto základě byla vypracována evropská norma EN 15193 - Energetická náročnost budov – Energetické požadavky na osvětlení, kde jsou popsány základní charakteristiky osvětlovacích soustav v jednotlivých aplikačních oblastech. Dále jsou v normě uvedeny dvě základní vý-

počtové metody, a to rychlá metoda a podrobná metoda hodnocení energetické náročnosti osvětlení v řešeném objektu. V tabulkách příloh jsou uvedeny směrné parametry hodnot pro dílčí výpočty, směrné hodnoty měrných příkonů a měrných spotřeb elektrické energie. Pro účely stanovení energetické náročnosti umělého osvětlení se do normálního osvětlení započítává jak osvětlení pracovišť, tak osvětlení komunikací sloužících pro provoz budovy, technického zázemí sloužícího k provozu budovy a sociálního zázemí budovy. Energetické požadavky na osvětlení se dají stanovit také měřeními.

Výpočty celkové roční energie pro osvětlení [1,4,7]

Rychlá metoda hodnotí spotřebu elektrické energie budovy jako celku. Tato metoda se používá v případě, kdy jsou k dispozici pouze hodnoty o celkové spotřebě elektrické energie na osvětlení v daném objektu a její podíl v celkové spotřebě objektu je malý. Při této metodě se ověří pouze to, zda daná spotřeba elektrické energie na osvětlení odpovídá směrným hodnotám spotřeby elektrické energie pro referenční objekt. Na základě výsledků z této metody nelze navrhovat úsporná opatření a nesmí se použít na bilanční hodnocení, tj. pro účely kolaudace.

Pro rychlé stanovení roční spotřeby energie pro osvětlení budov je navržen tento vzorec:

$$W_{\text{light}} = 0,5A + P_n \cdot F_c \cdot F_o \cdot (t_D \cdot F_D + t_N) \quad (12.14)$$

kde P_n - celkový instalovaný příkon svítidel ve vymezené části vnitřního prostoru (kW); t_D - doba využití denního světla (h/rok); t_N - doba využití bez denního světla ($\text{h} \cdot \text{rok}^{-1}$); F_D - činitel využití denního světla (-); F_o - činitel obsazenosti budovy (-); F_c - činitel konstantní osvětlenosti (-); A - celková plocha budovy (m^2).

Podrobná metoda umožňuje analyzovat spotřebu elektrické energie na osvětlení z pohledu prostorové a časové distribuce spotřeby elektrické energie na osvětlení. Při tomto způsobu hodnocení lze osvětlovací soustavu prostorově dělit podle typových prostorů, místností nebo zón. Typové místnosti jsou prostory s podobným charakterem využití, což jsou například komunikační prostory, kancelářské prostory, učebny apod. Spotřebu těchto prostorových jednotek lze pak posuzovat časově pro jednotlivá časová období, jako jsou rok, čtvrtletí, měsíc nebo den. Tento způsob hodnocení umožňuje získat přehled o podílu spotřeby elektrické energie jednotlivých prostorových jednotek objektu.

Oproti rychlé metodě jsou v podrobné metodě normou stanoveny postupy získání jednotlivých koeficientů tohoto výpočtu, čímž se však celý proces výpočtu stává náročnější, ale na druhou stranu také přesnější. Zvlášť se počítají koeficienty pronikání denního světla do budovy, omezení spotřeby energie pomocí denního světla, činitel dostupnosti denního osvětlení, stanovení hodin činnosti s využitím denního světla, stanovení vymezených částí vnitřních prostorů a členění budov na úseky.

Metoda měřeními umožňuje přesné určení spotřeby energie v budově, případně jen jejích částí, na základě dlouhodobých měření. Metoda je však časově náročná a dá se použít pouze v existujících budovách. Vyžaduje se také patřičné

technické zabezpečení měření. Metoda je určena především na průběžné monitorování spotřeby v budovách.

Numerický indikátor energie pro osvětlení (LENI)

Numerický indikátor energie pro osvětlení (LENI – kWh·m⁻²·rok⁻¹) je ukazatel roční spotřeby energie pro osvětlení požadované ke splnění funkce osvětlení a požadavků na účel budovy, dělený celkovou plochou této budovy, jak říká tento vzorec:

$$LENI = \frac{W_{light}}{A} \quad (12.15)$$

kde A - celková užitková plocha budovy, což je podlahová plocha uvnitř obvodových stěn s vyloučením neobyvatelných sklepů a neosvětlených prostorů, měřená v m².

12.2.5. Protokol průkazu energetické náročnosti budovy

Základní informace a legislativa

Průkaz ENB slouží pro jednoduché a přehledné vyhodnocení domu z hlediska spotřeby. Oproti původnímu energetickému průkazu budovy, hodnotí budovu z hlediska všech energií, které do budovy vstupují. Jedná se o energie na vytápění, ohřev teplé vody, chlazení, větrání a osvětlení. [1]

PRŮKAZ ENERGETICKÉ NÁROČNOSTI BUDOVY					
Typ budovy, místní označení			Hodnocení budovy		
Adresa budovy			stávající stav		
Celková podlahová plocha:			po realizaci doporučení		
A			B		
B			C		
C			D		
D			E		
E			F		
F			G		
Měrná vypočtená roční spotřeba energie v kWh/m ² ·rok			XY	XY	
Celková vypočtená roční dodaná energie v GJ			XY	XY	
Podíl dodané energie připadající na:					
Vytápění	Chlazení	Větrání	Teplá voda	Osvětlení	
%	%	%	%	%	
Doba platnosti průkazu					
Průkaz vypracoval			Jméno a příjmení Osvědčení č.		

Obr. 12.6: Grafické znázornění průkazu energetické náročnosti budovy [9]

12.3. Literatura ke kapitole

- [1] Sokanský K., Novák, T., Voráček, J. a kol.: Dominantní vlivy ovlivňující spotřebu elektrické energie osvětlovacích soustav, 2007, Ostrava, Dostupné na <<http://www.csorsostrava.cz/>>
- [2] Sokanský K., Novák, T., Voráček, J. a kol.: Potenciál energetických úspor veřejného osvětlení v ČR, 2007, Ostrava, dostupné na < <http://www.csorsostrava.cz/>>
- [3] Sokanský K., Novák, T., Voráček, J. a kol.: Snižování energetické náročnosti venkovních osvětlovacích soustav, 2010, Ostrava, ISBN 978-80-248-2481-9, Dostupné na URL:<<http://www.csorsostrava.cz/>>
- [4] Sokanský K., Novák, T., Šnobl, J. a kol.: Úspory energie v osvětlování při hodnocení energetické náročnosti budov, 2009, Ostrava. Dostupné na URL:<<http://www.csorsostrava.cz/>>
- [5] Gašparovský D., Smola A.: Návrh umělého osvetlenia interiérov a exteriérov, 2011, Bratislava, ISBN 978-80-8106-046-5
- [6] Plich J.: Světelná technika v praxi, 1999, IN-EL Praha, ISBN 80-86230-09-0
- [7] ČSN EN 15193 – Energetická náročnost budov – Energetické požadavky na osvětlení, červen 2008
- [8] TNI 73 0327 - Energetická náročnost budov – Energetické požadavky na osvětlení, únor 2009
- [9] Vyhláška č.148 o energetické náročnosti budov, červen 2007
- [10] DiLaura, D., Houser, K., Mistrick, R., Steffy, G.: Illuminating Engineering Society: The lighting handbook (tenth edition), ISBN #978-0-87995-241-9
- [11] CIE 97-2005 Směrnice k údržbě vnitřních osvětlovacích soustav

13. Využití účinků optického záření

13.1. Fotobiologické účinky záření

Mnoho biologických funkcí je rytmických, rostou a klesají podle stálého cyklického vzoru. Všechny biologické funkce neprobíhají stejnou rychlostí, liší se frekvencí, se kterou dokončí cyklus (periodu). Existují čtyři rytmy, které mají specifické názvy podle jejich periody:

- ultradiánní - rytmus s periodou delší než jedna hodina, ale kratší než jeden den (REM- rychlý pohyb očí, cyklus nastává přibližně každých 90 minut během spánku),
- cirkadiánní - denní rytmus s periodou přibližně 24 hodin (rytmus tvorby hormonu melatoninu, změna tělesné teploty, spánek a bdělost),
- infradiánní - rytmus s periodou delší než jeden den, přibližně každé čtyři týdny,
- circannual - rytmus s periodou přibližně jeden rok (sezónní změny v tvorbě hormonů),

Biologické rytmy se také liší amplitudou, strmostí průběhu nebo dobou trvání maxim a minim. Některé vykazují dramatické změny během periody cyklu. [2]

Z hlediska osvětlení a osvětlovacích soustav jsou nejdůležitější cirkadiánní rytmy.

13.1.1. Cirkadiánní rytmy

Vývoj člověka probíhal od dávných dob v podmínkách pravidelného střídání světla ve dne a tmy v noci v závislosti na rotaci Země. Již před lety bylo zjištěno, že celá řada biologických funkcí v lidském organismu se výrazně mění v rytmu odpovídajícímu tomuto střídání, který byl označen jako cirkadiánní rytmus podle toho, že trvá přibližně jeden den. V tomto biologickém rytmu mozek programuje funkce celého organismu i jednotlivých orgánů tak, aby co nejlépe vyhovovaly požadavkům kladeným na člověka z hlediska vykonávaných činností v různých denních i nočních dobách. Někdy se tato funkce mozku označuje jako cirkadiánní hodiny. Nejdůležitější přitom ovšem vždy bylo a je co nejlepší připravenost organismu k výkonům v různých pracovních aktivitách nebo i k regeneraci organismu a odstranění únavy při odpočinku.

Každému je asi nejznámější pravidelné kolísání připravenosti organismu buď k odpočinku a ke spánku nebo k aktivitám a práci po ranním probuzení a zahájení denních činností. To je řízeno hlavně změnami ve vylučování hormonu melatoninu, který se často označuje jako spánkový hormon a jehož kolísání, v závislosti na střídání světla a tmy, je velmi dobře prozkoumáno. Obdobně ovšem kolísají i další tělesné funkce, jako například tělesná teplota, krevní tlak, tepová frekvence a další.

Mozek dostává informace o změnách světla a tmy z gangliových buněk (duální funkce zraku) v sítnici oka, tedy nikoliv z tyčinek nebo čípků, určených k vidění. Gangliové buňky obsahují melanopsin sloužící k detekci světla s odlišným spektrálním průběhem. Tyto buňky zaznamenávají celkovou úroveň a trvání osvětlení,

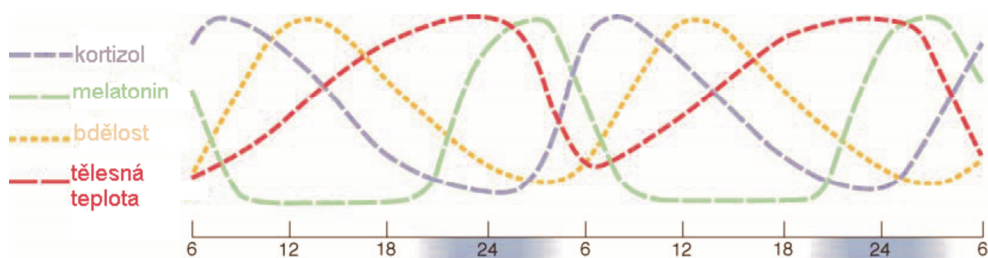
ale nereagují na jeho náhlé změny. Informace o stavu osvětlení předávají řídicímu orgánu v mozku zvanému suprachiasmatické jádro (SCN), ze kterého jsou předávány informace těm částem mozku, které kontrolují cirkadiální procesy.

Na základě informace o setmění dostane epifyza (mozková šišinka) signál, aby začala produkovat melatonin a připravila tak celý organismus ke spánku. Ráno opět po informaci o stoupající úrovni denního světla přijde opačný signál k zastavení produkce tohoto hormonu.

Obdobně se řídí i produkce jiných hormonů, mezi jinými i dnes dobře známého adrenalinu. Hormon kortizol, který se označuje zpravidla jako stresový hormon, má ráno sekreci asi 10x až 20x vyšší než v noci, protože připravuje organismus na nutnost reagovat na nejrůznější zátěže a nečekané situace během dne. [5]

Cirkadiální rytmus zodpovídá za řízení denních rytmů jako je spánek, bdělost, tělesná teplota, tvorba hormonů a dalších fyziologických činitelů, zahrnujících kognitivní činnosti i imunitní systém. Lidský cirkadiální cyklus u zdravých lidí má průměrnou periodu blízko 24 hodinám, v rozsahu 23,9 h - 24,5 h u zdravých lidí. Během této doby se citlivost cirkadiálního systému na světelné záření mění. Světlo detekované očima je primární environmentální podnět pro regulaci cirkadiálního systému. Jiné vnější podněty, jako jsou například zvuk, teplota, sociální podněty, kofein a doba jídla, mohou mít také vliv na rytmus lidského těla. S přibývajícím věkem se může změnit amplituda cirkadiálního rytmu, ale neobjevuje se změna periody cyklu.

Na obr. 13.1 je zobrazen průběh čtyř důležitých cirkadiálních rytmů. Jsou zde zobrazené dva celé cykly (48 hodin). Maximum bdělosti nastává ve 13 hodin, naopak minimum nastává okolo 4. hodiny ráno. Tvorba hormonu melatoninu je nižší během dne a vrchol nastane, když je bdělost v minimu. Maximum tvorby kortizolu, dalšího endokrinního hormonu, nastává přibližně čtyři hodiny po špičce melatoninu. Graf zobrazuje rozdíly strmosti průběhů a různé načasování jednotlivých cirkadiálních cyklů.



Obr. 13.1: Schématický graf čtyř cirkadiálních rytmů [3]

Typický cirkadiální rytmus fyziologických procesů u člověka probíhá zpravidla takto:

- 02:00 h nejhlubší spánek,
- 06:00 h nejnižší tělesná teplota,
- 08:00 h sekrece melatoninu končí,

- 13:00 h největší bdělost,
- 17:00 největší kardiovaskulární účinnost a svalová síla,
- 20:00 h začíná tvorba melatoninu,
- 22:00 h nejvyšší tělesná teplota,
- 22:30 h potlačení pohybu střev.

13.1.2. Světlo a cirkadiánní cyklus

Účinek vyvolaný světlem se liší v závislosti na fázi cirkadiánního rytmu. Vystavení se světlu před tím, než dosáhne tělesná teplota svého minima (ráno), posune se fáze rytmu tělesné teploty a tvorba melatoninu do nového cyklu (maxima průběhů obou rytmů budou nastávat dříve). Vystavení se světlu večer zpozdí jak rytmus tělesné teploty, tak cyklus tvorby melatoninu (maxima průběhů těchto rytmů nastávají později, než by měli).

Melatonin se nachází v trávicím traktu, sítnici, řasnatém tělísku a v nitrooční kapalině, která obklopuje duhovku oka. Nicméně hlavním zdrojem, kde se vytváří melatonin je epifyza.

Světlo může mít náhlý potlačující účinek na vysoké hodnoty melatoninu během noci. Tento náhlý potlačující účinek světla byl poprvé pozorován na krysách a byl použit v dalších četných studiích na zvířatech, aby bylo možné definovat neutrální a biochemické mechanismy regulace melatoninu. V roce 1980 bylo předvedeno, že oči normálních lidských dobrovolníků vystavené 2500 lx bílého světla během noci, způsobily velké snížení obíhajícího melatoninu během jedné hodiny. V porovnání s dobrovolníky, kteří byli vystaveni 500 lx bílého světla, nevykazovali významné potlačení melatoninu.

Vliv melatoninu na spánek je složitý. Nejlepší spánek nastává, když se tělesná teplota snižuje a množství vylučovaného melatoninu stoupá. Avšak melatonin sám nekontroluje spánek. Je možné spát i s fázovým posuvem od tvorby melatoninu.

Vyšší úroveň osvětlení během noční pracovní směny může zvýšit výkonnost v porovnání s tlumeným osvětlením. Tyto poznatky mohou být použity tam, kde je noční práce nezbytná. V jedné studii, zdraví mladí dobrovolníci pracovali nepřetržitě 30 hodin na počítačích, brali si pouze malé přestávky na jídlo apod. (French, Hannon & Brainard, 1990). Když pracovali při osvětlenosti 3000 lx bílého světla po dobu od 18:00 do 06:00 hodin, významně se jim zlepšil režim práce i mentální schopnosti (reakční doba, matematické schopnosti, komplexní řešení problémů) v porovnání s jejich vlastními výsledky v experimentu při 100 lx. U těchto dobrovolníků také nastaly značné rozdíly v tělesné teplotě i v množství hormonů v krvi. [2]

13.1.3. Desynchronismus biologických hodin

V dnešní době si představujeme pod pojmem desynchronismus stav vyplývající z rychlého transportu přes několik časových zón. Cestování přes 5 nebo více časových zón způsobuje větší problémy než krátké lety. Zatímco se biologické hodiny přizpůsobují nové geofyzikální časové oblasti, ze zkušeností spousty lidí jsou popsány nepříjemné příznaky, které desynchronismus doprovázejí. Jsou jimi denní ospalost, noční nespavost, zažívací problémy, podrážděnost, mírné deprese

a zmatení. Cirkadiánní systém člověka se při takovéto změně přizpůsobí během tří až dvanácti dnů.

Výsledky různých výzkumů ukazují, že vhodně načasované vystavení se světelnému záření i vyhnutí se světlu může zabránit nebo zlepšit desynchronismus. Tato počáteční zjištění nasvědčují tomu, že světelné záření může být vhodný prostředek pro rychlé seřízení biologických hodin cestovatelů a pro překonání některých problémů spojených s dálkovým cestováním. Nejsou stanovené žádné normy vztahující se k použití světelného záření pro tuto moderní chorobu, ale existují pokyny, hardware i software určený k tomu, aby se usnadnilo načasování, kdy má být osoba vystavena světelnému záření.

Seřízení cirkadiánního rytmu v novém časovém pásmu vyžaduje buď posunutí nebo zpoždění cyklu. Cirkadiánní cyklus se snadněji zpožďuje než předbíhá. Posunutí cirkadiánního rytmu může být provedeno světelným zářením během hodiny po tom, co průběh tělesné teploty dosáhl svého minima a zároveň se musíme vyhnout světelnému záření před minimem tělesné teploty. Zpoždění cirkadiánního rytmu způsobíme v případě, že se světelnému záření vystavíme před minimem tělesné teploty a poté se kontaktu se světelným zářením vyhneme. Pro jednotlivce je obtížné vyhodnotit cirkadiánní fázi a správně stanovit vhodnou dobu pro vystavení se světelnému záření nebo tmě. [2]

Velmi nepříznivě se mohou na člověku projevit rozdíly v synchronizaci biologických rytmů zejména v případech, kdy vznikají časové posuny jednotlivých činností proti dennímu rytmu, jako tomu je u pracovníků s posunem směn, při práci v noci (například i studium), kdy se sice aktivity posunují do noční doby, ale není možné přitom ovlivňovat produkci hormonů (např. melatoninu nebo kortizolu), tělesnou teplotu atd. U takových osob se časem zvyšuje výskyt srdečních chorob, potíží se zažívacím traktem, poruch spánku i jiných obtíží.

Narušení cirkadiánních rytmů se objevuje zákonitě ve velké míře v takových případech, kdy nejsou úroveň a trvání denního osvětlení dostatečné k jejich synchronizaci, zejména v zimním období s krátkým dnem a v krajinách s vyšší zeměpisnou šířkou. K tomu ještě mohou přispívat místní podmínky, například vysoká a hustá zástavba omezující přístup denního světla, celodenní pobyt v místnostech s nedostatečným denním osvětlením nebo s pouze umělým osvětlením a podobně.

U významné části populace při takovém deficitu denního světla vznikají charakteristické příznaky a obtíže, jako zvýšená únava, ospalost, snížená aktivita a výkonnost, apatie, růst tělesné hmotnosti, bolesti hlavy atd.

Tyto příznaky se označují jako syndrom SAD (Seasonal Affective Disorder – sezónní afektivní porucha), kterou je možné popsat jako sezónní rozladění organismu. Obtíže vznikající při tomto syndromu je možné odstranit nebo alespoň podstatně zmírnit pravidelným působením umělého osvětlení s vysokou úrovní osvětlenosti a po přiměřeně dlouhou dobu (jde o osvětlenosti v tisících luxů a potřebná doba pobytu v tomto osvětlení je závislá na jeho úrovni). [2]

Světelné záření ovlivňující biorytmy se nachází v části spektra, na které je ne-zrakový systém nejcitlivější. Vrchol se nachází v modrozelené části spektra. Světelné zdroje pro běžné použití musí udržovat rovnováhu mezi potřebami vizuálního i nezrakového systému ve všech parametrech, aby byly splněny všechny požadavky kladené na osvětlovací soustavu. [5]

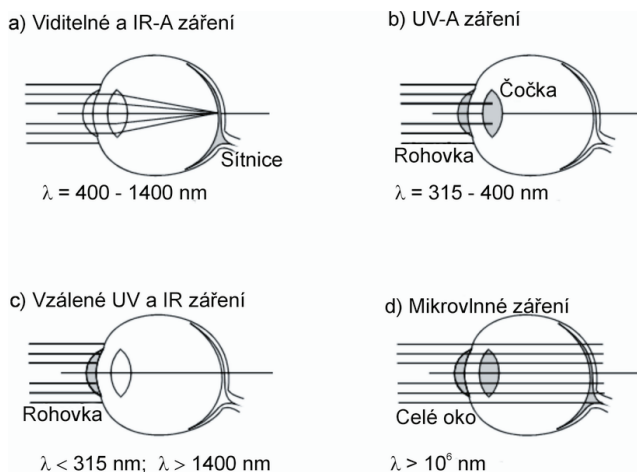
13.2. Účinky záření na lidský organismus

Obecně platí, že při interakci optického záření se živou tkání se záření částečně odráží, částečně je tkání absorbováno a nebo tkání proniká. Biologická reakce tkáně závisí na parametrech záření (intenzitě, vlnové délce záření), době působení a na biologických vlastnostech i velikosti zasažené tkáně (především na absorpci).

Pro biologický účinek je rozhodující úroveň elektromagnetického pole uvnitř organismu, přičemž vztahy mezi vnějšími a vnitřními parametry jsou pro hygienickou praxi obtížně definovatelné (např. SAR ($W \cdot kg^{-1}$) Specific Absorption Rate - specifická míra absorpce). Z hygienického hlediska zjednodušeně rozlišujeme nepříznivé účinky optického záření na tepelné a netepelné (fotochemické). Předcházející rozbor nám umožňuje zaujmout určitý hygienický náhled na optické záření. Víme, že optické záření se v našem životním prostředí vyskytuje přirozeně (např. ve slunečním záření), jsme na ně adaptováni a obvyklé dávky dokonce k životu potřebujeme.

Riziko proto pro nás představují většinou umělé zdroje. Jedná se o takové množství absorbované energie, jež překračuje práh energetického poškození lidské tkáně a tím může dojít k akutnímu poškození zdraví. Převážně se jedná o orgány na povrchu lidského těla (zrak nebo pokožku).

Z hlediska působení optického záření se tedy zabýváme rozdílnými nepříznivými účinky jeho jednotlivých pásem – IR (infračervené záření), VIS (viditelné záření) a UV (ultrafialové záření) viz obr. 13.2. [5]



Obr. 13.2: Místa absorpce optického záření v oku [5]

Zrak má dvě bezpečnostní zóny. První je tvořena vlastní čočkou, která je schopna pohltit složky UV na úrovni slunečního záření. Druhá je tvořena sklivcem, který pohltí IR záření, přemění na teplo, které se odvede krevním systémem oka.

13.2.1. Nepříznivé účinky ultrafialového záření

Záření v jednotlivých vlnových pásmech vyvolává určité pochody probíhající v kůži či podkoží. Účinky částí spektra slunečního záření závisejí na schopnosti záření těchto jednotlivých vlnových délek pronikat do kůže.

Záření UV-C (280 až 100 nm) by při výskytu v terestriálním záření pronikalo jen do povrchové vrstvy kůže, kde by, pohlceno buňkami, mohlo v jejich jádrech vyvolat mutace chromozomů s následnými změnami v buněčné struktuře a v chování buněk, zejména v jejich rychlém růstu, a nakonec by vedlo k tvorbě nádorů. V umělých zdrojích by se nemělo vyskytovat.

Záření UV-B (280 až 320 nm) proniká hlouběji, uplatňuje se při vzniku slunečního opálení a tvorbě vitamínu D. Záření UVB je odpovědné za pozdní zarudnutí vznikající asi do 2 až 8 hodin po vystavení kůže slunečním paprskům při opalování. V kůži následkem jeho činnosti dochází k biochemickým pochodům, které vedou k tvorbě nových látek. Zpočátku podmiňují tvorbu mnoha látek podílejících se na zánětu kůže, které zahajují zánětlivý proces v ozářené kůži. Následně vedou k tvorbě ochranného pigmentu melaninu, což se projevuje tzv. pozdním hnědnutím kůže, nastupujícím až druhý den po proběhlém zánětu kůže. Mají také podíl na vývoji zhoubných novotvarů kůže.

Paprsky UV-A (320 až 400 nm) způsobují časnou pigmentaci. Hrají roli při oxidaci ochranného hnědého pigmentu melaninu, již při minulém opalování vzniklého a dále v kůži setrvávajícího z minulých opálení, ale redukováného a odbarveného, a tím vyvolávají okamžité hnědnutí kůže. Tento pigment však nemají lidé s kožním typem I. U nich proto nemohou takovéto změny v kůži nastat. Původní představa o bezpečnosti paprsků UV-A je mylná. Ty totiž působí na imunitu kůže, což má pozitivní vliv na možnost léčit některé choroby, ale naproti tomu je nutné zdůraznit, že podmiňují abnormální reakce kůže při spoluúčasti fotoaktivních látek a také se účastní rakovinotvorných pochodů v kůži právě působením na imunitu. [5]

13.2.2. Nepříznivé účinky viditelného záření

Energeticky nejvýznamněji působí viditelné záření na sítnici, která toto záření absorbuje nejvíce. Do úvahy zde přicházejí především umělé zdroje (hlavně v pásmu modrého VIS – 435 až 440 nm), ale také pohled do slunce, trvající déle než několik vteřin, může způsobit poškození zraku (jsme varováni oslněním).

Z hlediska hygienické závažnosti je jednoznačně nejrizikovější viditelné koherentní záření (tzv. laserové záření), protože umožňuje přenos energie vysokých úrovní na velkou vzdálenost, navíc umocněnou fokusací oční čočkou (nárůst hustoty energie). Kromě poškození zraku (propálení sítnice) může vzniknout i poškození pokožky, popř. i některých vnitřních orgánů (v pásmu červeného VIS). [5]

Viditelné záření nepůsobí na kůži zdravých osob negativně. Přesto existují jedinci, u kterých může viditelné záření vyvolat různá onemocnění kůže. V takových případech se hovoří o fotosenzitivních chorobách – fotodermatózách (např. solární kopřivka, fototoxické reakce po lécích aj.).

13.2.3. Nepříznivé účinky infračerveného záření

U zraku je v pásmu IR-A (780 - 1400 nm) záření největší riziko koncentrace energie na sítnici, v pásmu IR-B (1400 - $3 \cdot 10^3$ nm) a IR-C ($3 \cdot 10^3$ - $1 \cdot 10^5$ nm) záření absorpce v rohovce. V obou případech může dojít k jejich popálení. Při výkonové hustotě záření blízké prahu poškození může vzniknout i přechodné zatemnění rohovky (zákal). Nepříznivou skutečností je, že jsou receptory poškozeny bez varování a může vzniknout i trvalé poškození zraku (např. "žárová" katarakta, ke které dochází při vystavení ozáření $0,08$ až $0,4 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$ po dobu několika let).

U pokožky dochází v pásmu IR-A záření z větší části k jejímu odrazu nebo průniku. V oblasti IR-B, IR-C záření dojde k pohlcení většiny energie ve všech vrstvách pokožky, kde také může dojít k jejímu popálení. K tepelnému poškození buněk dochází již při teplotě asi $43,5^\circ\text{C}$, ale jsme varováni tepelnými receptory, které vyvolávají pocit bolesti. [5]

Infračervené záření způsobí při opalování ihned nastupující zčervenání kůže. V prostředí, kde působí toto záření dlouhodobě, vyvolává na kůži změny, které jsou hodnoceny jako zarudnutí způsobené cévkami rozšířenými ohněm nebo sálavým teplem. Na postižené kůži se objevují trvalé změny v podobě síťovité pigmentace a někdy i mírného ztenčení kůže. Postiženy jsou často osoby používající k prohřívání elektrické dečky, nahřívající si často kůži před infrazářiči nebo při práci u pecí v hutích nebo sklárnách apod. V poslední době se uvažuje i o negativním působení infračerveného záření na buňky ve smyslu stimulace jiných faktorů podporujících rakovinné bujení. Kratší vlnové délky infračerveného záření působí po několika letech expozice zákal čočky oka. Avšak i tyto paprsky je možné vhodně užít k terapeutickým zásahům. Mají pravděpodobně vliv na regeneraci tkáně, a tak jsou přístroje vyzařující toto záření používány k léčbě např. bércových vředů, k hojení jizev apod. [4]

13.2.4. Léčba světlem

První zmínky o léčebných účincích světla pocházejí ze Staré čínské medicíny (Kolor terapie). U nás je nejrozšířenější léčba novorozenecké žloutenky modrým světlem (465 nm).

V současné době se vyvíjejí léčebné metody založené na fotodynamické terapii, které vycházejí z toho, že některé chemické látky a sloučeniny mohou být působením světla aktivovány tak, že působí jako toxiny a mohou rozrušovat tkáň, ve kterých jsou obsaženy. Takové látky se cíleně podávají takovým způsobem, aby se hromadily v nežádoucích tkáních a po aktivaci světlem pomáhaly k jejich odstranění nebo zastavení nežádoucího růstu. Bylo již dosaženo nadějných výsledků v řadě oblastí, zejména při léčení zhoubných nádorů, u kožních chorob, u leukémie, při odstraňování autoimunitních obtíží při transplantacích, ale také v očním lékařství. V neposlední řadě se používá této metody i při odstraňování aterosklerotických plátů v artériích pro zlepšení průchodnosti a zásobování krví důležitých orgánů a tím předcházení infarktů a dalších obtíží.

Nejnovější využití světla při diagnostice zhoubného bujení založeném na speciálním druhu spektroskopie (Raman) pomocí laseru. Při ní se může ozařovat nejen odebraný vzorek lidské tkáně, ale i živá tkáň při vyšetření pacienta. Aby se zamezilo možné rušivé fluorescenci tkáně, používá se při této spektroskopii vlnové

délky 1064 nm. Tímto způsobem je možné velmi rychle rozlišit normální zdravou tkáň a tkáň napadenou zhoubným bujením i stanovit hranici mezi nimi, což může mít velký význam pro včasné léčení, případně záchranu života. [4]

Záření UVC (v podobě germicidních lamp) se používá k dezinfekci místností vyžadujících co nejčistší a antibakteriální prostředí, tedy operačních sálů, laboratoří apod.

Pro fototerapii, resp. fotochemoterapii, jsou vhodné zářiče vydávající záření v oblastech záření UVB a UVA. Celotělové přístroje se volí v indikovaných případech k terapii spíše generalizovaných a těžkých kožních chorob, u lokalizovaných problémů se pracuje pouze s pomocí malých zářičů. Asi nejvýznamnějšími chorobami, u nichž se k této terapii přistupuje, jsou zmiňovaná lupénka (psoriáza) v různých formách a atopický ekzém. Dále je možné využít jejich terapeutický efekt u pacientů s akné, různými typy parapsoriáz, dalších forem ekzému, včetně kontaktního alergického ekzému, u vitiliga, sklerodermií a kožních reakcích po transplantacích. Nejnovější metodou využívající k terapii záření UV je metoda ozarování paprsky o úzkém spektru 311 nm. [4]

13.3. Osvětlování rostlin

Růst rostlin, velikost sklizně a dokonce i to, kdy začne rostlina kvést, to všechno závisí na světle, které na rostlinu dopadá. Jeho kvalita, intenzita i doba svícení, všechno hraje svoji roli. Rostlina mění světelnou energii na chemickou. Rostlinný pigment chlorofyl je důležité barvivo, které absorbuje záření na červených a modrých vlnových délkách. Rozdílné částice pigmentu absorbují rozdílné vlnové délky. Absorbovaná energie je dostatečná k tomu, aby rozdělila molekulu vody a tím vznikají částice vodíku (H) a hydroxidu (OH). Ten reaguje s oxidem uhličitým z atmosféry a tak vznikají uhlovodíky, které poskytují rostlině energii k růstu.

Na lidské tělo dopadá přes $12 \cdot 10^{24}$ fotonů za sekundu a rostlina jich potřebuje 20, aby vyrobila jednu molekulu cukru. Je možné určit počet fotonů dopadajících na rostlinu a také kolik z této energie dokáže využít. U osvětlování rostlin je tedy důležitá hodnota PAR (photosynthetic active radiation - fotosynteticky aktivní záření). U světelného zdroje bude tedy, stejně jako na jeho světelném toku, záležet na světelném spektru.

Receptorem záření v rostlinách je chlorofyl a různé pigmenty. Chlorofyl je zelený pigment obsažený v chloroplastu (částice v buňkách), který poskytuje energii potřebnou pro fotosyntézu. Existují dva druhy chlorofylů A a B, které se významně podílejí na fotosyntéze. Dalšími pigmenty pracujícími při fotosyntéze jsou karotenoidy, ty hrají důležitou roli při pohybu rostliny za světlem. Vrcholy spektra tvoří vlnové délky červené barvy 660 nm a modré barvy 440 nm. Zelená až žlutá zůstává kvůli zelené barvě chlorofylu nevyužita, neboť ji chlorofyl odráží.

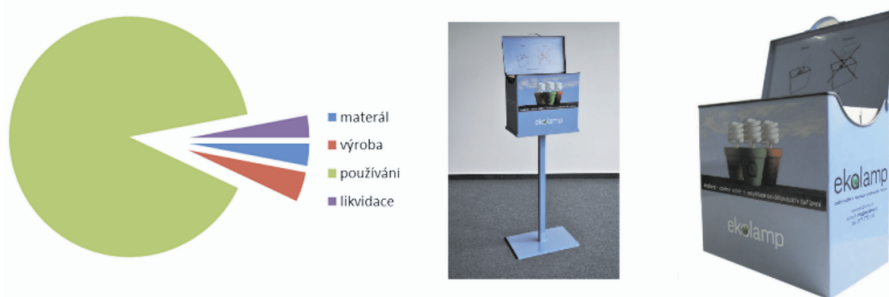
Oblast vlnových délek 350 – 500 nm - kromě fotosyntézy stimuluje tvorbu chlorofylu, využívá rostlina modré světlo k fototropismu – rostlina redistribuuje vhodně růstové hormony a přizpůsobuje tak svůj tvar k intenzitě a směru právě tohoto záření tak, aby záření efektivně využila. Dále podle záření v modré oblasti dochází k otevírání průduchů.

Zelenožluté záření 500 - 600 nm – pouze minimální účinek těchto vlnových délek.

Oblast vlnových délek 600 – 700 nm – Tuto oblast využívá rostlina jak k fotosyntéze, tak k prodlužovacímu růstu stonku (natahování se za Sluncem). Zde rostlina využívá poměru intenzit záření vlnových délek 660 až 735 nm (vzdálená červená). Když se podíváme na absorpční křivku chlorofylu, vidíme, že rostlina chytře využívá ostrou hranici této křivky. Pokud se rostlina nachází ve stínu jiné rostliny dopadne díky absorpci záření chlorofylem stínící rostliny na rostlinu minimum záření o kratší vlnové délce, ale dostatek záření o delších vlnových délkách (vzdálená červená) a rostlina se začne prodlužovat. I když má rostlina dostatek umělého osvětlení a převažuje (far red), roste rostlina rychleji do výšky v domnění, že je zastíněná. Při opačném poměru rostlina zase roste do výšky pomalu. Proto je dobré mít poměr těchto složek záření vyvážený podobně jako u slunečního záření, rozhraní viditelné a infračervené záření, kdy tento poměr činí 1 : 1,2.

13.4. Ekologické aspekty osvětlování

Využívání vnitřních i venkovních osvětlovacích soustav nám přináší velký prospěch, ale je třeba dbát i na ekologické aspekty osvětlování a dopady na životní prostředí.



Obr. 13.3: Vynaložená energie za životní cyklus zářivky a sběrné nádoby pro malé světelné zdroje

Na obr. 13.3 je vidět energie vynaložená za životní cyklus zářivky. Toto rozložení je pro každý typ světelného zdroje jiné.

Hlavním vlivem osvětlování na životní prostředí jsou emise CO_2 z výroby svítidel, světelných zdrojů i elektřiny. Pro jejich stanovení je rozhodující spotřeba osvětlovacích soustav včetně ztrát na řídicích komponentech a ve světelném rozvodu. Snažíme se tento dopad minimalizovat výrobou efektivních svítidel i zdrojů a vhodným návrhem osvětlovacích soustav. Tam, kde je to účelné, se doplňuje stmíváním a senzory denního světla nebo přítomnosti.

Při výrobě světelných zdrojů i předřadníků se používají vzácné nebo nebezpečné prvky, které mohou při nevhodném odpadovém hospodářství ohrozit životní prostředí. Proto se výrobci snaží množství těchto prvků minimalizovat. Například množství rtuti používané v zářivkách se za posledních 35 let snížilo o 90 % na jednotky miligramů v jednom zdroji (podle konstrukce a příkonu).

V souladu se zákonem č. 185/2001 Sb., O odpadech, je v ČR zajištěn povinný odběr vysloužilých elektrozařízení, včetně svítidel a světelných zdrojů. Po sběru následuje recyklace, při níž je využito více než 90 % materiálu. Sklo, kovy a plasty jsou využívány jako druhotné suroviny pro další zpracování. Rtuť, fosfor a další materiály z výbojek jsou po přečištění využívány v chemickém průmyslu. V České republice je největší společností zajišťující sběr a recyklaci osvětlovacích zařízení firma Ekolamp s.r.o. Občané, firmy, obce i veřejné instituce mohou vysloužilé světelné zdroje a svítidla odevzdávat firmě zdarma k odborné recyklaci prostřednictvím jejich vlastní sběrné sítě.

13.5. Využití optického záření v energetice

V souvislosti s rostoucí poptávkou po energiích, jejich rostoucí cenou, i ekologickým aspektem využívání fosilních zdrojů, je vhodné více využívat obnovitelné zdroje. Nabízí se přímé využití slunečního záření, protože je všude dostupné a lze ho využívat zdarma. Solární elektrárnu lze postavit téměř kdekoli, velmi výhodné je to co nejbližše spotřeby tak, aby se minimalizovaly ztráty vzniklé na přenosovém vedení. V souladu s mezinárodními závazky na zvyšování výroby z obnovitelných zdrojů stát dotuje výkupní ceny elektřiny z obnovitelných zdrojů.

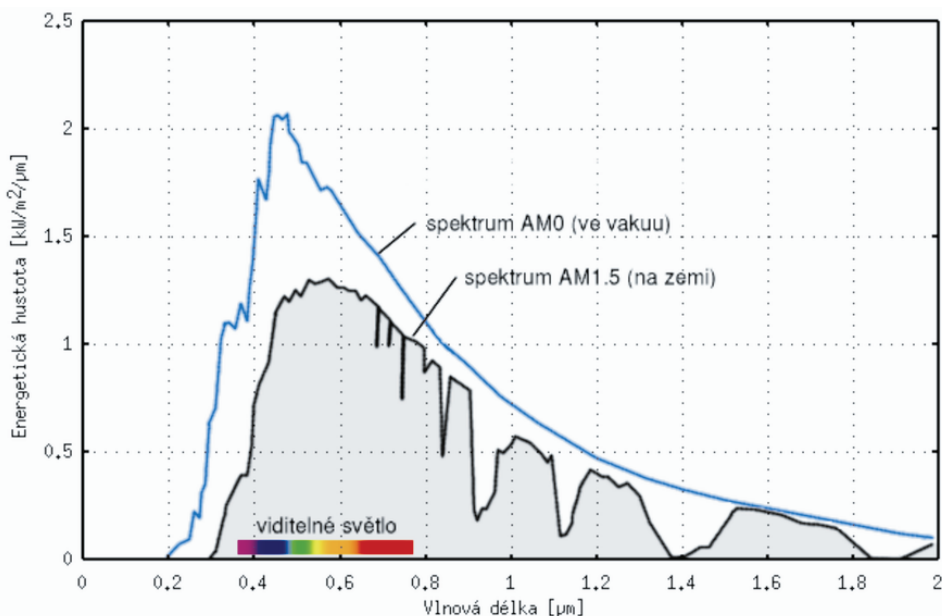
13.5.1. Sluneční záření

Pro solární energetiku, jak už sám název napovídá, je zdrojem sluneční záření. Slunce, naše nejbližší hvězda vzdálená od země 150 miliónů kilometrů, je složena ze 75 % z vodíku a z 25 % z hélia. Ve Slunci nepřetržitě probíhá termojaderná reakce přeměny vodíku v helium, přičemž každou sekundu Slunce ztratí 4,26 miliónů tun ze své hmotnosti. Energii tohoto hmotnostního úbytku Slunce vyzařuje do okolí - za sekundu tedy $3,8 \cdot 10^{26}$ J. Slunce nám vydrží svítit ještě 5 miliard let. Teplota povrchu Slunce je 5770 K, proto maximum záření nalezneme na vlnové délce 555 nm.

Jen zlomek z této energie - jedna dvoumiliardtina dopadne na povrch naší atmosféry. Dopadající zářivá energie má hodnotu $1,37 \text{ kW} \cdot \text{m}^{-2}$ a tato hodnota se nazývá solární konstanta. Její velikost se v čase nepatrně mění v závislosti na změnách aktivity slunečních skvrn (v 11-ti letých cyklech) a na aktuální vzdálenosti Země od Slunce (dráha pohybu je totiž mírně eliptická).

Ultrafialové záření	110	$\text{W} \cdot \text{m}^{-2}$
Viditelné záření	642	$\text{W} \cdot \text{m}^{-2}$
Infračervené záření	615	$\text{W} \cdot \text{m}^{-2}$
Solární konstanta	1367	$\text{W} \cdot \text{m}^{-2}$

Tab. 13.1: Energetické rozdělení solární konstanty- nejvíce energie dopadá ve formě viditelného světla



Obr. 13.4: Spektrální složení světla dopadajícího na Zemi

Naše atmosféra má filtrační účinek - způsobuje pokles intenzity záření, zvláště u kratších vlnových délek – ultrafialového záření. Na povrch Země tedy dopadá při hezkém počasí okolo poledne maximálně $1000 \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}$. Tato hodnota je téměř nezávislá na umístění a na rovníku je jen mírně vyšší. Celkem na povrch Země osvětlený Sluncem dopadá zářivý výkon $180\,000 \text{ TW}$.

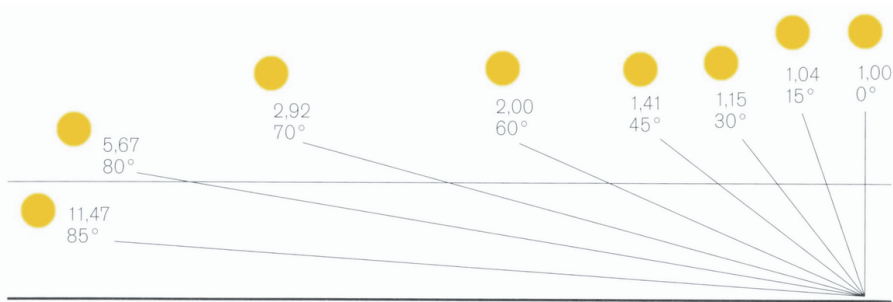
Pokles záření je také závislý na úhlu dopadu paprsků, tím i na tloušťce atmosféry, kterou musí projít. Proto se používá tzv. AM (Air Mass factor) - optická tloušťka atmosféry, vyjadřující násobek tloušťky atmosféry, kterou musí světlo projít. Pro výpočty a měření se běžně užívá $AM = 1,5$; to odpovídá úhlu dopadu slunečních paprsků $41,75^\circ$.

Přibližný výpočet optické tloušťky atmosféry (zanedbává zakřivení Země):

$$AM = \frac{1}{\sin \varphi} \quad (13.1)$$

kde φ - je úhel výšky slunce nad horizontem

Mezi další faktory ovlivňující dopad zářivé energie na Zemi patří také nadmořská výška (záření prochází tenčí vrstvou atmosféry), vzdušné znečištění (způsobuje rozptyl nebo může záření absorbovat) a v neposlední řadě i oblačnost.

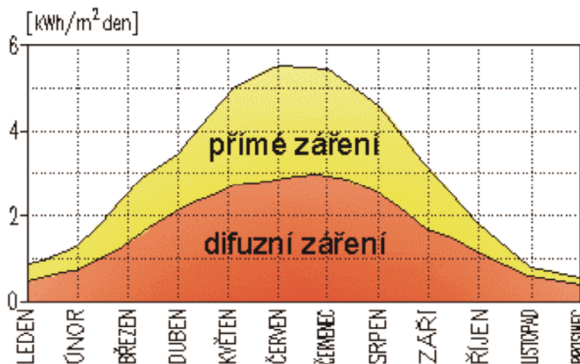


Obr. 13.5: Hodnoty AM pro danou polohu Slunce na obloze

Rozlišujeme přímé a nepřímé ozáření, jejich součet pak dává ozáření celkové. Při jasné bezoblačné obloze převažuje přímé ozáření; průchodem mraky se světlo rozptýlí a ozáření Země je nepřímé. V ročním průměru dopadá v České republice asi jedna polovina energie zářením přímým a polovina difúzním.

V jasný letní den je podíl difúzního (nepřímého) záření cca 10 %, v zamlžený nebo zamračený den zvláště na podzim nebo v zimě až 100 %.

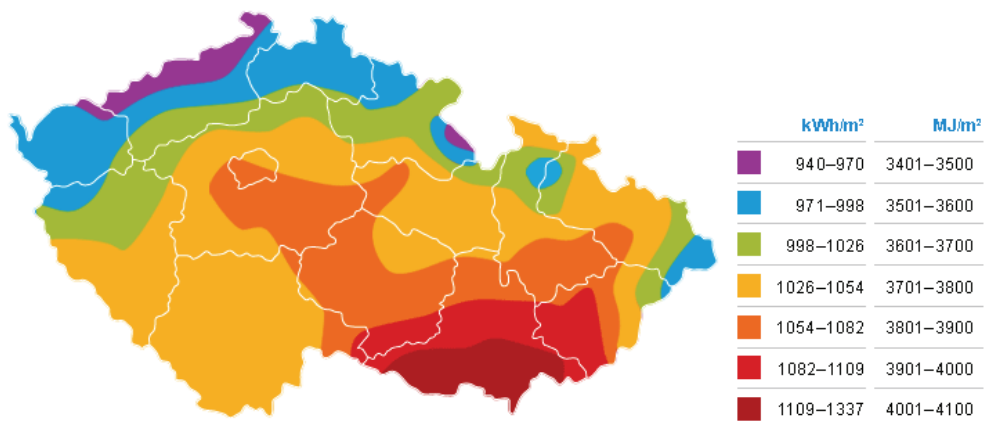
Za kolísání nabídky energie v ročním úhrnu může hlavně sklon zemské osy - při oběhu Země kolem Slunce je ozářena jednou severní a jednou jižní polokoule. V zimě je záření méně díky poloze Slunce níže nad horizontem a kratšímu dni. Čím dále jsme pozice od rovníku, tím jsou větší rozdíly mezi zimním a letním půlrokem.



Obr. 13.6: Podíl přímého a nepřímého záření na území ČR v průběhu roku

Celková doba slunečního svitu se u nás pohybuje většinou mezi 1400 - 1800 hodinami ročně.

Ročně dopadne na naše území energie průměrně 1081 kWh·m⁻². V našich podmínkách je standardní statický fotovoltaický (FV) systém s výkonem 1 kW_p schopen vyrobit 900 - 1000 kWh elektrické energie ročně. Z tohoto množství 75 % v době od dubna do října a 25 % ve zbyvající části roku.



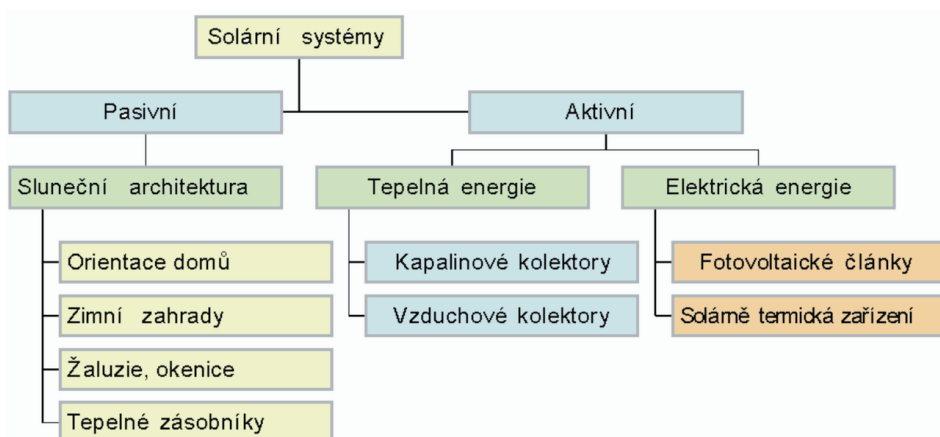
Obr. 13.7: Celková roční dopadající energie na horizontální rovinu [20]

Jak je vidět z obrázku, určujícím faktorem množství dopadající zářivé energie je zeměpisná šířka. Rozdíl v množství dopadající energie mezi místem s nejlepší a nejhorší polohou je cca 17 %.

13.5.2. Solární systémy

Solární systémy - realizace pro využívání solární energie - můžeme rozdělit na 2 základní druhy:

- pasivní systémy - toto jsou konstrukční řešení, která pomáhají využívat sluneční potenciál a zmenšovat energetické ztráty,
- aktivní systémy - jsou to zařízení nebo jejich soubory, které jsou primárně určeny k přeměně solární energie na tepelnou nebo elektrickou energii.



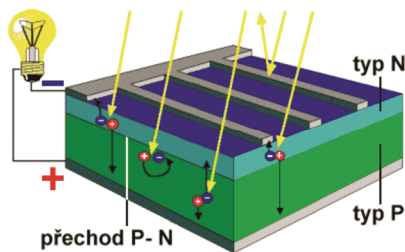
Obr. 13.8: Rozdělení solárních systémů

My se dále budeme zabývat výrobou elektřiny, kterou můžeme provést buď přímo, tedy pomocí solárních článků, nebo nepřímo s využitím tepelné energie jako prostředku k výrobě energie elektrické.

13.5.3. Fotovoltaické systémy

Fotovoltaické systémy jsou zdroje elektrické energie přímo ze slunečního záření, které využívají fotovoltaických článků. Základním prvkem a podstatou každého fotovoltaického systému je solární článek. Principem jeho funkce je fotoelektrický jev, který byl poprvé pozorován již v roce 1839 A. E. Bequerelem. Vyložit jeho podstatu však dokázal až A. Einstein v roce 1905. Nicméně až éra polovodičů a vesmírných misí po 2. světové válce znamenaly pro toto odvětví prudký vývoj doprovázený zvyšováním účinnosti článků.

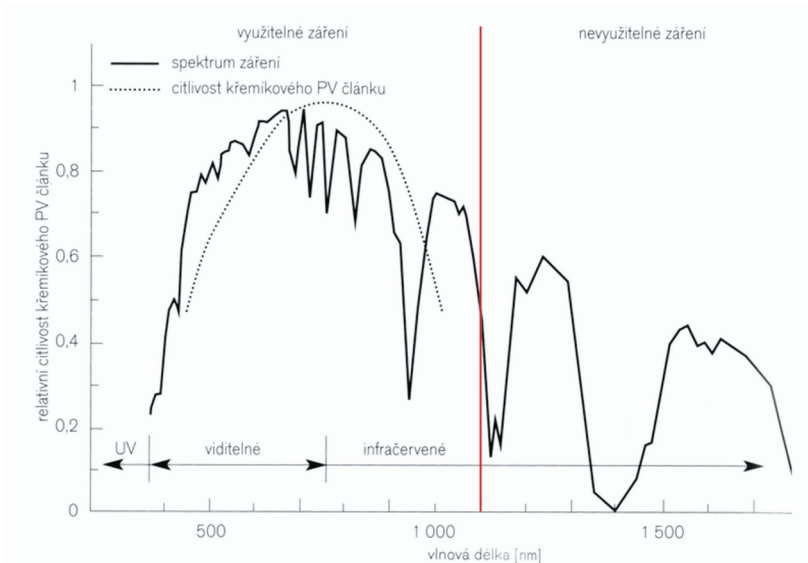
Polovodičový solární článek je vlastně velká dioda - velkoplošný PN přechod, ve kterém se při dopadajícím záření uvolní některé elektrony z krystalové mřížky, čímž se vytvoří volné elektrony a díry. Elektrické pole tyto nosiče náboje oddělí, takže elektrony se nahromadí na horní straně polovodiče typu N a přebytek děr vznikne na spodní straně polovodiče P. Když propojíme (přes spotřebič) obě strany článku, bude obvodem protékat proud - elektrony se budou pohybovat, aby zaplnily díry a tím vyrovnaly rozdíl potenciálů. Toto je skutečný směr toku proudu, zatímco dohodnutý směr (směr vyznačovaný v obvodech) je opačný. Množství elektronů tekoucích obvodem je stejné jako množství elektronů uvolněných v PN přechodu díky ozáření. Elektrický proud je proto lineárně úměrný množství dopadajícího záření. Pro shromažďování a odvod náboje je přední strana článku pokryta kontaktní mřížkou a zadní strana je celá z kontaktního materiálu.



Obr. 13.9: Znázornění průběhu fotoelektrického jevu na PN přechodu

Záření, které způsobí uvolnění elektronu v polovodiči, ovšem nemůže být libovolné - fotony dopadajícího záření musí mít potřebnou energii. Velikost potřebné energie závisí na použitém polovodiči, pro křemík je potřebná energie 1,1 eV, což odpovídá záření o vlnové délce 1100 nm.

Pro generaci proudu se tedy využije jen fotonů s vlnovou délkou kratší, tzn. s větší energií. Ale ani jejich energie není plně využita, protože 1 foton vybudí právě jeden elektron a zbylá energie způsobuje ohřev článku. Díky těmto faktorům nelze dosáhnout s křemíkem účinnosti vyšší než cca 55 %. To je jistě velmi dobrá hodnota, ale díky dalším ztrátám v článku je prakticky nedosažitelná. Standardní účinnost běžně používaných FV článků se pohybuje v oblasti 15 ÷ 18 %. Výrobci garantují, že výkon po 25 letech neklesne pod hodnotu 80 %.



Obr. 13.10: Citlivost Si fotočlánku v porovnání se spektrem AM1,5

Solární články - typy a výroba

Křemíkové články- křemík je dnes nejpoužívanějším materiálem pro výrobu solárních článků, je z něj přes 90 % běžně dostupných článků. Je v zemské kůře obsažen z 30 %, a tak s jeho dostupností nejsou potíže. Problémem spíše je, jak ho dostat do velmi čisté podoby, která je pro výrobu článků nutná, s vynaložením co nejmenšího množství energie a tedy i za co nejnižší cenu. Odpadového křemíku z výroby polovodičových součástek, který se pro tyto účely používá, totiž není pro rychle se rozvíjející produkci solárních článků dostatek.

- Monokrystalický křemík - materiál nákladné výroby s vysokou účinností na přímé sluneční záření. Účinnost takto vyrobených článků je 14 – 17 %, laboratorně bylo dosaženo až 25 %.
- Polykrystalický křemík - velmi často používaný v tuzemských instalacích. Účinnost v laboratorních podmínkách dosahuje 20 %, běžné články do 16 %.
- Amorfnní křemík - účinnost je relativně nízká- cca 5 – 7 %, avšak článek dokáže lépe než předchozí využít i difúzní záření. Pro dosažení vyšší účinnosti se tento materiál může použít ve více vrstvách, čímž se dosáhne účinnosti až 12 %.

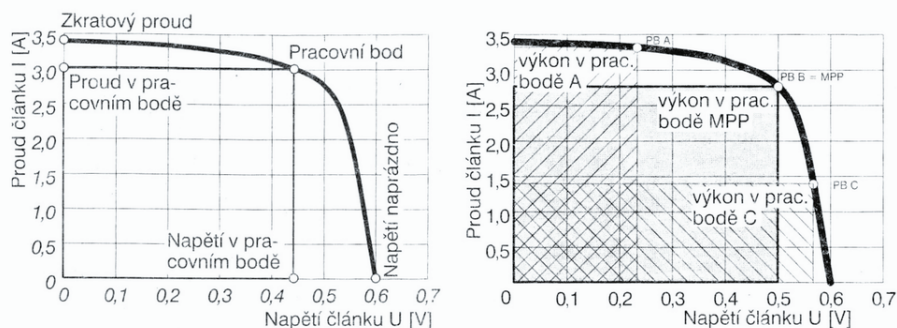
Články z jiných materiálů, jako:

- galium arsenid – GaAs - s příměsemi (např. fosfor, indium, germanium) se používá pro výrobu solárních článků s více PN přechody, které dokáží využít širší spektrum slunečního záření, maximální laboratorně dosažená účinnost činí 40,7 %,

- telurid kadmia – CdTe - účinnost komerčně vyráběných modulů je přes 8 % a laboratorně byla dosažena účinnost 16 %,
- diselenid mědi a india - CuInSe₂ - laboratorní účinnost je až 18 %, jejich širšímu rozšíření zatím brání jejich vyšší cena.

Charakteristika solárního článku

Nejpoužívanější charakteristikou solárních článků je voltampérová charakteristika. Proud nakrátko (také zkratový proud) udává maximální hodnotu proudu, kterou je článek schopen při daném ozáření dodat. Většinou se pohybuje v rozsahu 3 - 6 A, v závislosti na typu článku a jeho ploše. Napětí naprázdno udává maximální napětí na solárním článku bez připojené zátěže. U monokrystalických článků je asi 0,6 V.



Obr. 13.11: VA charakteristika a MPP solárního článku

Pracovní bod je bod charakteristiky, ve kterém článek aktuálně pracuje. Jeho poloha závisí na parametrech zátěže. Výkon v pracovním bodě se vypočítá jako součin napětí a proudu v pracovním bodě.

MPP (Maximum Power Point) je pracovní bod, ve kterém je výkon solárního článku největší. Tento bod leží v místě ohybu voltampérové charakteristiky, protože právě tak má součin napětí a proudu, tedy výkon, maximální hodnotu. V tomto bodě se snažíme solární článek provozovat.

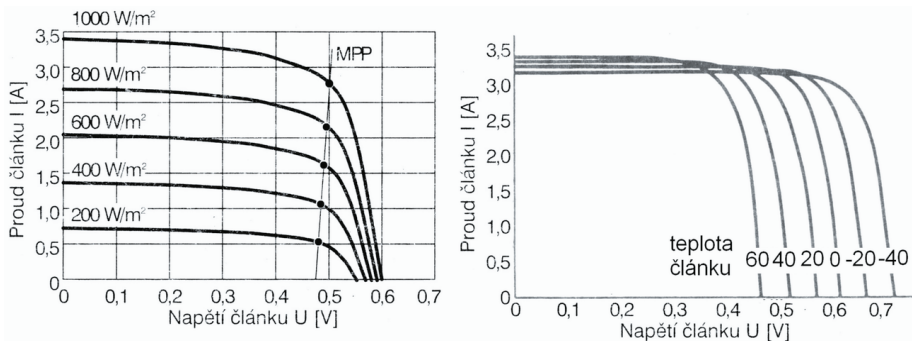
Faktory ovlivňující výkon solárního článku

Intenzita dopadajícího záření má na výkon solárního článku největší vliv, protože způsobuje pohyb elektronů. Proud článku roste úměrně s ozářením. Napětí roste jen mírně.

Teplota článku má na napětí a proud článku protichůdný vliv. Zatímco při rostoucí teplotě proud roste, napětí klesá. Protože ale pokles napětí je výraznější než růst proudu, výkon článku s rostoucí teplotou klesá tempem cca $0,44 \text{ \%} \cdot \text{°C}^{-1}$. Proto hlavně v teplejších oblastech je nutno pro dosažení stejného napětí a výkonu třeba instalovat více solárních článků (modulů).

Spektrální složení světla má také vliv na výkon článku, protože ten využívá různých vlnových délek s různou účinností. Aby bylo možné solární články a modu-

ly mezi sebou účinně porovnávat, měření výkonu článků se provádí při intenzitě dopadajícího záření $1000 \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}$ (odpovídá plnému oslunění), teplotě prostředí 25°C a spektrálnímu složení světla odpovídajícímu $\text{AM} = 1,5$. Takto naměřený výkon je stanoven jako špičkový výkon s označením W_p .



Obr. 13.12: Vliv ozáření a teploty solárního článku na VA charakteristiku

Solární panely

Solární článek je velmi tenký a křehký a kontakty na jeho povrchu by bez ochrany podlehly korozi. To jsou důvody, proč se přistupuje k zapouzdření více článků do solárního panelu.

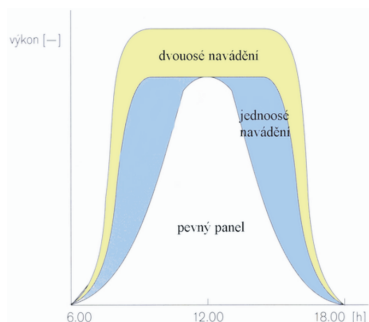
Pro dosažení vysoké životnosti musí konstrukce panelu chránit jednotlivé články před škodlivými vlivy prostředí. Z přední strany články zakrývá tvrzené sklo, které je chrání před deštěm, větrem i krupobitím. Jako materiál, do kterého se články ukládají, se používá etylenvinylacetátová fólie. Ze zadní strany články kryje nejčastěji pevný plast, používá se odolný materiál nazývaný Tedlar. Hotový panel se usazuje do hliníkového rámu, který dává konstrukci tuhost a odolnost, např. před větrem nebo sněhovou pokrývkou, a umožňuje snadnou montáž. Každý panel má vyvedeny kontakty, buď vodiči nebo vodotěsnou svorkovnicí.

Tenkovrstvé solární články se často uzavírají do oboustranně průhledných materiálů, a to pro případ montáže na objekty. Tenkovrstvé články mohou být také ohebné, v tom případě se obklopí flexibilní fólií a na podklad se připevňují lepením.

Zvyšování efektivity výroby elektřiny

Když odhlédneme od účinnosti fotovoltaických článků, tak množství energie, které vyrobíme, závisí i na konstrukci panelu a jeho umístění. Musíme ale zohlednit podmínky instalace, abychom nezaplátili více, než bychom získali na vyrobené elektřině.

Natáčení solárních panelů za Sluncem - tímto způsobem lze významně zvýšit množství vyrobené energie, zvláště v letních měsících. Natáčení může být jednoosé nebo dvouosé.



Obr. 13.13: Porovnání okamžitého výkonu systému bez a s naváděním a příklad panelů s dvouosým naváděním

Jednoosé je výrobně jednodušší, levnější a panel je více odolný vůči poryvům větru a také se snáz řídí. Osa natáčení může být vodorovná nebo obecně skloněná.

Dvouosé navádění je velmi účinné, ale značně komplikovanější. Systémy se otáčejí za Sluncem na základě řízení počítačem.

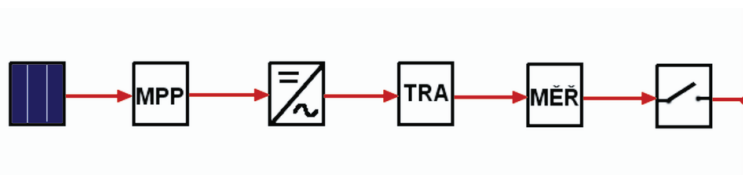
Navádění má veliký smysl v případě přímého záření, množství dopadajícího difúzního záření nijak neovlivňuje. Proto hlavně v zimních měsících je u nás jeho přínos malý. Celkově je navádění solárních panelů i v našich podmínkách zajímavé a jeho realizace se odvíjí od ceny a typu řešení.

Koncentrace záření - další možností, jak zvýšit množství vyrobené elektřiny, je zvýšit ozáření FV modulu. Toho dosáhneme soustředěním záření z větší plochy a to pomocí čoček nebo odrazných ploch.

- Čočky - ke koncentraci využívají lomu světla do ohniska, kde je umístěn FV článěk. Tato technika je známá již velmi dlouho, ale až nyní se o ní začíná více mluvit díky existenci vysokoúčinných článků, např. GaAs. Tyto články jsou sice dražší, ale díky koncentraci je třeba jen málo materiálu, což snižuje výslednou cenu. Používají se čočky Fresnelova typu a to pro menší spotřebu materiálu a úsporu místa. Vyrábějí se z plastů, aby se ušetřilo na ceně. Nevýhodou tohoto řešení je postupná ztráta vlastností - degradace průhlednosti.
- Reflexní plochy - pomáhají nám pomocí odrazu světla zvýšit obsah plochy, ze které využíváme záření, nebo prodlužují dobu oslunění panelů. Dají se použít koncentrátoři s rovinnými reflektory i koncentrátoři s parabolickými zrcadly, ty jsou ale výrobně mnohem dražší, vyžadují chlazení článků a velmi přesné navádění. Odrazné plochy reflexních koncentrátorů mají jen omezenou životnost, protože kvůli nepříznivým vlivům počasí rychle stárnou a ztrácí odrazivost.

Koncentrátoři využívají pouze přímé záření a svým stíněním snižují možnost využití rozptýleného záření. Proto je jejich použití rentabilnější v místech s vyšším podílem přímého oslunění a menším počtem zatažených dní. Často se koncentrátorů používá v kombinaci s naváděním panelů za Sluncem, u čočkových a reflexních parabolických koncentrátorů je to nutné ke správné fokusaci.

FV solární systémy připojené k síti a jejich komponenty



Obr. 13.14: Blokové schéma solárního systému připojeného k síti

Po solárních panelech, které se pro dosažení vyššího napětí zapojují převážně do série, je dalším komponentem systému sledovač MPP. Jeho úkolem je zajistit, aby fotovoltaické pole pracovalo vždy v bodě maximálního výkonu a my jsme tak mohli využít co nejvíce dostupné energie. Tento sledovač je již v moderních měničích zabudován.

Následující a velmi podstatnou součástí systému je střídač, jeho úkolem je vytvořit ze stejnosměrného napětí o proměnlivé velikosti střídavé napětí nejčastěji 230 V s kmitočtem 50 Hz. Používají se polovodičové střídače určené speciálně pro provoz se solárními panely, mají velké rozmezí vstupního napětí, obvykle 200 ÷ 400 V. Tyto měniče také musí splňovat normy v oblasti tvaru křivky, velikosti výstupního napětí, zkreslení a další. Střídače se umí samy přifázovat k síti a v případě poruchy se od sítě samy odpojí. Často se vyrábějí i v provedení umožňujícím venkovní instalaci a bývají vybaveny stavovým displejem i s orientačním měřením vyrobené energie a indikací parametrů fotovoltaického systému. Dosahují velmi vysoké špičkové účinnosti - až 97 %, ale to pouze, jsou-li zatíženy těsně pod maximem. Proto se volí vyšší počet měničů menšího výkonu, které se podle aktuálního výkonu FV pole připínají a odpínají. Životnost měničů se pohybuje mezi 10 a 15 lety.

Za měničem následuje podle hladiny napětí, na kterou je systém připojen, zvyšovací transformátor. Za ním už je jen elektroměr k průkaznému měření dodané energie a spínač připojení do sítě.

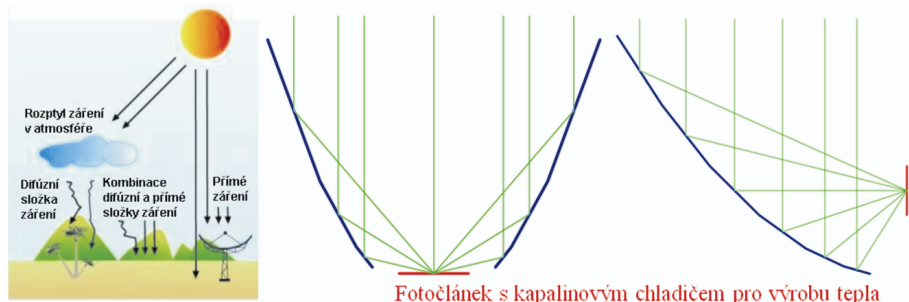
13.5.4. Fotovoltaicko-termické články s koncentrátory slunečního záření

Sluneční záření dopadající na povrch fotočlánků se skládá ze složky přímé a nepřímé. Nepřímá, tzv. difúzní složka záření vzniká rozptylem slunečního záření v atmosféře nebo jeho odrazem od okolních ploch. Difúzní složka slunečního záření je tedy tvořena svazkem různoběžných paprsků a dominuje v případě oblačného počasí, kdy je přímá složka slunečního záření potlačena oblačností. Naopak přímá složka slunečního záření se vyznačuje svazkem rovnoběžných paprsků a převažuje při bezoblačném počasí, kdy se difúzní složka záření stává nevýznamnou. Při bezoblačném počasí bývá poměr nepřímé a přímé složky slunečního záření přibližně 1:10 [17]. Podobný je tedy i poměr výkonu fotovoltaických systémů při zatažené obloze a při bezoblačném počasí.

Okamžitý elektrický výkon fotovoltaicko-termického systému je dán především užitečným zářivým tokem Φ_e slunečního záření dopadajícím na aktivní plochu systému, který se obecně stanoví ze vztahu (13.2).

$$\Phi_e = \int_S E_{eN} \cdot dS \quad (13.2)$$

kde E_{eN} je normálová ozářenost elementu plochy fotočlánku dS ($W \cdot m^{-2}$), tj. ozářenost průmětu plošky dS do roviny kolmé k paprsku slunečního záření, S je celková velikost aktivní plochy fotovoltaicko-termického systému (m^2).



Obr. 13.15: Přímá a difúzní složka slunečního záření, řez složeným rovinným koncentrátorem slunečního záření s horizontálně a vertikálně uloženým fotovoltaicko-termickým článkem

Aktivní plocha fotovoltaicko-termických systémů bývá zpravidla tvořena rovinnými plochami (rovinnými fotočlánky s kapalinovým chladičem). V případě, kdy na rovinnou plochu dopadá pouze přímá složka slunečního záření (svazek rovnoběžných paprsků), lze užitečný zářivý tok Φ_{ep} dopadající na tuto rovinnou plochu zjednodušeně vypočítat ze vztahu:

$$\Phi_{ep} = E_e \cdot S_0 \cdot \cos \alpha \quad (13.3)$$

kde E_e je ozářenost roviny kolmé ke směru paprsků přímého slunečního záření ($W \cdot m^{-2}$), S_0 je velikost aktivní plochy fotočlánků s kapalinovými chladiči (m^2), α je úhel sevřený normálou roviny fotočlánků a směrem paprsků slunečního záření ($^\circ$).

Velikost ozářenosti E_e roviny kolmé ke směru paprsků přímého slunečního záření je v daném místě určena aktuální polohou tohoto místa vůči Slunci a činitelem prostupu atmosféry. Užitečný zářivý tok přímého slunečního záření dopadajícího na rovinnou plochu je pak dán pouze velikostí rovinné plochy a jejím sklonem vůči směru paprsků přímého slunečního záření.

Požadovaného elektrického výkonu lze dosáhnout buď odpovídající velikostí plochy křemíkových fotočlánků optimálně orientovaných v prostoru nebo využitím odrazných ploch, kterými lze svazek rovnoběžných paprsků přímého slunečního záření přeměnit na svazek paprsků sbíhajících se v bodě, přímce nebo v ploše. Systém takových odrazných ploch je označován jako koncentrátor slunečního záření. V případě použití takových koncentrátorů je nutné zajistit dostatečné chlazení fotovoltaických panelů kapalinným médiem pomocí chladiče instalovaného na spodní stranu fotovoltaických panelů. Takový systém se pak označuje jako kombinovaný fotovoltaicko-termický článek, neboť s jeho využitím dochází ke kombino-

vané výrobě elektřiny a tepla. Koncentrátor slunečního záření lze jen velmi obtížně využít pro směřování paprsků difúzní složky slunečního záření, jejichž směr je závislý na aktuálních povětrnostních podmínkách a velmi rychle se v čase mění.

Koncentrace přímého slunečního záření probíhá buď systémem rovinných zrcadel nebo zrcadlovými plochami odvozenými od kuželoseček (parabolické, hyperbolické nebo eliptické zrcadlo) [19]. Odrazné plochy odvozené od kuželoseček zpravidla směřují svazek paprsků do bodu či přímky. Toho je využíváno v termických člancích pro ohřev kapalin proudících propustnou trubicí, jejíž osa je umístěna právě v přímce (popřípadě v bodech), kam je sluneční záření směřováno odraznými plochami koncentrátoru.

Koncentrátory slunečního záření pro fotovoltaiku naopak nesmějí soustřeďovat svazek paprsků slunečního záření do bodu či přímky, neboť tak může dojít k nevratnému poškození částí rovinného křemíkového fotočlánku, na které by byl soustředěn příliš úzký svazek slunečních paprsků. Vhodné je použít systém rovinných zrcadel, popřípadě složených rovinných odrazných ploch, kdy nedochází k soustředění paprsků slunečního záření do příliš malého prostorového úhlu. Složením několika rovinných zrcadel vznikají složené rovinné koncentrátory. Příklady složených rovinných koncentrátorů přímého slunečního záření jsou uvedeny na obr. 13.15.

Zanedbáme-li pokles intenzity slunečního záření při průchodu záření oblastí koncentrátoru, lze užitný zářivý tok Φ_{ek} dopadající na fotočlánek opatřený koncentrátorem slunečního záření určit podle vztahu:

$$\Phi_{ek} = E_e \cdot \left(S_0 \cdot \cos \alpha + \sum_{i=1}^n S_i \cdot \rho_i \cdot \psi_i \cdot \cos \beta_i \right) \quad (13.4)$$

kde E_e je ozáření roviny kolmé ke směru paprsků přímého slunečního záření ($W \cdot m^{-2}$), S_0 je velikost aktivní plochy fotočlánku (m^2), α je úhel sevržený normálou roviny fotočlánku a směrem paprsků přímého slunečního záření ($^\circ$), n je počet rovinných odrazných ploch koncentrátoru (-), S_i je velikost plochy průmětu i -té odrazné plochy do roviny kolmé ke směru přímých paprsků slunečního záření (m^2), ρ_i je činitel odrazu i -té odrazné plochy (-), ψ_i je činitel vazby i -té odrazné plochy s aktivní plochou fotočlánku (-), β_i je úhel, který svírá směr odražených paprsků od i -té odrazné plochy s normálou roviny fotočlánku ($^\circ$).

V případě, optimálního návrhu a instalace koncentrátoru lze dosáhnout velikosti činitelů vazby $\psi_i \rightarrow 1$.

Z rovnice (13.4) vyplývá, že zářivý tok Φ_{ek} slunečního záření dopadajícího na aktivní plochu fotočlánku může být při aplikaci koncentrátoru (13.4) i několikanásobně vyšší, než zářivý tok Φ_{ep} přímého slunečního záření dopadající na totožný, optimálně instalovaný fotočlánek bez použití koncentrátoru stanovený z výrazu (13.3). Aby nedošlo k poškození fotočlánku, je důležité, že výkon záření, které dopadá na fotočlánek, nesmí překročit určitou dovolenou hodnotu stanovenou výrobcem, popřípadě experimentálně určenou pro daný fotočlánek.

Použitím koncentrátoru přímého slunečního záření lze zvýšit výkon záření dopadajícího na aktivní plochu fotovoltaicko-termického systému v podmínkách, kdy

převažuje přímá složka slunečního záření (bez oblačnosti) a lze tak zajistit i dostatečný tepelný výkon termické části systému (která slouží jako chladič pro fotovoltaiku). Nedojde-li k překročení dovolených mezí zářivého toku dopadajícího na fotočlánek, je možné dosáhnout i odpovídajícího zvýšení elektrického výkonu fotovoltaického systému. Pro správnou funkci koncentrátoru je nutné použít systém natáčení koncentrátoru a fotočlátku [18] vyhodnocující změny dráhy Slunce po obloze.

Použitím koncentrátoru přímého slunečního záření v době, kdy je přímé sluneční záření potlačeno vlivy atmosféry a kdy převažuje záření difúzní, dochází k částečnému snížení výkonu slunečního záření dopadajícího na fotočlánek (vlivem zastínění části horního poloprostoru odraznými plochami koncentrátoru, příp. nevhodnou orientací fotočlátku v koncentrátoru – obr. 13.15 vpravo) a tím i ke snížení elektrického výkonu a k odstavení termické části systému v této době.

13.6. Literatura ke kapitole

- [1] Matoušek J.: Vliv světla a osvětlení na člověka [online], Dostupné z URL:<<http://www.tzb-info.cz/t.py?t=2&i=1794>> [cit 10.09.2011].
- [2] CIE 158:2004 Ocular lighting effects on human physiology and behaviour, Vienna, 2004.
- [3] van Bommel W.: Lighting and our health, well-being and productivity, Philips Lighting, Eindhoven, 2005.
- [4] Jirásková M., Jirásek L.: Záření – škodí nebo prospívá?, Světlo – časopis pro světelnou techniku a osvětlování č. 4, FCC Public s. r. o., Praha, 2008.
- [5] Rybár P., Šesták F., Hraška J., Juklová M., Vaverka J.: Denní osvětlení a oslunění budov, ERA 2002.
- [6] Murtinger P., Bernatovský J., Tomeš T.: Fotovoltaika, elektřina ze slunce. Brno: Vydavatelství ERA, 2007. 192 s.
- [7] Henze A., Hillebrand W.: Elektrický proud ze slunce. Ostrava: HEL, 2000. 136 s.
- [8] Karamanolis S.: Sluneční energie. Praha: Sdružení MAC, s.r.o., 1996. 245 s.
- [9] Krieg B.: Elektřina ze Slunce. Ostrava: HEL, 1993. 227 s.
- [10] Erec: Renewable energy in Europe. Londýn: James & James, 2004. 202 s.
- [11] Goetzberger A., Hoffmann V. U.: Photovoltaic solar energy generation. Berlín: Springer, 2005. 233 s.
- [12] Český hydrometeorologický ústav, Dostupné z URL:<<http://www.chmi.cz>>
- [13] Czech RE Agency, Dostupné z URL:<<http://www.czrea.org>>
- [14] JRC European Commission, Dostupné z URL:<<http://re.jrc.ec.europa.eu>>
- [15] Energy 21, Dostupné z URL:<<http://www.energy21.cz>>
- [16] Webové stránky společnosti EKOLAMP, s.r.o., Dostupné z URL:<<http://www.ekolamp.cz>>
- [17] Cihelka, Jaromír. Solární tepelná technika. Praha : Nakladatelství T.Malina, 1994. 208 s.
- [18] Bannert, P., POTŮČEK, J.: Natáčecí fotovoltaický systém. In Solární fotovoltaický systém a „Zelená energie“ v Českém Švýcarsku a jeho okolí. Varnsdorf : VOŠ a SOŠ Varnsdorf, 2009. s. 1-32.
- [19] Smola, A.: Koncentrátor sluneční energie. Bratislava, 2002. 52 s. Habilitační práce. STU v Bratislave, FEI.
- [20] URL:<<http://www.mivvyenergy.eu/slunecni-mapa>>.

14. Právní požadavky na osvětlení a české technické normy

V souvislosti se vstupem ČR do evropských výborů pro normalizaci CEN/CENELEC k 31.12.1999 byly normy prohlášeny za právně nezávazné a někteří uživatelé se tudíž domnívali, že jejich respektování je obecně pouze doporučené.

Nejprve je nutné uvést základní informace k evropské legislativě, ve kterých se vyskytují požadavky na osvětlení. Jako první si uvedeme Směrnici Rady ze dne 30. listopadu 1989, o minimálních požadavcích na bezpečnost a ochranu zdraví na pracovišti (první samostatná směrnice ve smyslu čl. 16 odst. 1 směrnice 89/391/EHS). Další z evropských legislativ je Nařízení evropského parlamentu a Rady (ES) č. 852/2004 ze dne 29. dubna 2004, ve kterém je ustanovena hygiena potravin.

Z české legislativy uvedeme Zákon č. 183/2006 Sb., o územním plánování a stavebním řádu (stavební zákon), ve znění pozdějších předpisů. Dále Vyhlášku MMR ČR č. 137/1998 Sb., o obecných technických požadavcích na výstavbu, Zákon č. 258/2000 Sb., o ochraně veřejného zdraví a změně některých souvisejících zákonů, Vyhlášku MZd. č. 49/1993 Sb., o technických a věcných požadavcích na vybavení zdravotnických zařízení, ve znění pozdějších předpisů a Vyhlášku MZd. ČR č. 410/2005 Sb., o hygienických požadavcích na prostory a provoz zařízení a provozoven pro výchovu a vzdělávání dětí a mladistvých. Hygienické požadavky na zotavovacích akcích pro děti, ve znění pozdějších příspěvků, spravuje Vyhláška MZd. ČR č. 106/2001 Sb. Dále hygienické limity na koupalištích a saunách a hygienické limity písku v pískovištích venkovních hracích ploch, ve znění vyhlášky č. 292/2006 Sb., jsou obsaženy ve Vyhlášce MZd. ČR č. 135/2004 Sb. Dále se uvádí Vyhláška MZd. ČR č. 432/2003 Sb., kterou se stanovují podmínky pro zařazování prací do kategorií, limitní hodnoty ukazatelů biologických expozičních testů, podmínky odběru biologického materiálu pro provádění biologických expozičních testů a náležitosti hlášení prací s azbestem a biologickými činiteli.

Dále jsou uvedeny zákony a nařízení vlády týkající se pracovní bezpečnosti, hygieny a technických požadavků. První je uvedeno Nařízení vlády č. 361/2007 Sb., kterým se stanovují podmínky ochrany zdraví při práci, dále Zákon č. 262/2006 Sb., tedy zákoník práce, ve znění pozdějších předpisů, Zákon č. 309/2006 Sb., zajišťující další podmínky bezpečnosti a ochrany zdraví při práci, ve znění zákona č. 362/2007 Sb., Nařízení vlády ČR č. 24/2003 Sb., kterým se stanovují technické požadavky na strojní zařízení, Zákon č. 40/1964, občanský zákoník, ve znění pozdějších předpisů, Zákon č. 22/1997 Sb., o technických požadavcích na výrobky a o změně a doplnění některých zákonů, v platném znění, Nařízení vlády č. 101/2005 Sb., o podrobnějších požadavcích na pracoviště a pracovní prostředí, Nařízení vlády č. 591/2006 Sb., o bližších minimálních požadavcích na bezpečnost a ochranu zdraví při práci na staveništích a Světelné technické normy (ČSN).

Číslo normy	Název
ČSN EN 12665	Světlo a osvětlení – základní termíny a kritéria pro stanovení požadavků na osvětlení
ČSN 36 0010	Měření světla. Kmenová norma
ČSN 36 0011-1	Měření osvětlení vnitřních prostorů – část 1: základní ustanovení
ČSN 36 0011-2	Měření osvětlení vnitřních prostorů – část 2: měření denního osvětlení
ČSN 36 0011-3	Měření osvětlení vnitřních prostorů – část 3: měření umělého osvětlení
ČSN 36 0020	Sdružené osvětlení
ČSN 36 0050-1	Osvětlení v podzemí dolů. Světelnětechnické základy navrhování. Část 1: Všeobecné požadavky
ČSN 36 0050-2	Osvětlení v podzemí dolů. Světelnětechnické základy navrhování. Část 2: Poruby se štítovou výztuží
ČSN 36 0050-3	Osvětlení v podzemí dolů. Světelnětechnické základy navrhování. Část 3: Oblast přechodu porub/chodba
ČSN EN 12464-1	Světlo a osvětlení – osvětlení pracovních prostorů – Část 1: Vnitřní pracovní prostory
ČSN EN 12464-2	Světlo a osvětlení – osvětlení pracovních prostorů – Část 1: Venkovní pracovní prostory
TNI 36 0450	Rušivé oslnění při osvětlení vnitřních prostorů
TNI 36 0451	Údržba vnitřních osvětlovacích soustav
ČSN EN 1837	Bezpečnost strojních zařízení – integrované osvětlení strojů
ČSN EN 1838	Světlo a osvětlení – nouzové osvětlení
ČSN EN 12193	Světlo a osvětlení – osvětlení sportovišť
ČSN EN 13201-1	Osvětlení pozemních komunikací – Část 1: Výběr tříd osvětlení
ČSN EN 13201-2	Osvětlení pozemních komunikací – Část 2: Požadavky
ČSN EN 13201-3	Osvětlení pozemních komunikací – Část 3: Výpočet
ČSN EN 13201-4	Osvětlení pozemních komunikací – Část 4: Metody měření
ČSN 73 0580-1	Denní osvětlení budov – Část 1: Základní požadavky
ČSN 73 0580-2	Denní osvětlení budov – Část 2: Denní osvětlení obytných budov
ČSN 73 0580-3	Denní osvětlení budov – Část 3: Denní osvětlení škol
ČSN 73 0580-4	Denní osvětlení budov – Část 4: Denní osvětlení průmyslových budov
ČSN 73 4301	Obytné budovy
ČSN EN 15193 (73 0323)	Energetická náročnost budov – energetické požadavky na osvětlení

Tab. 14.1: Seznam základních norem pro osvětlování

14.1. Literatura ke kapitole

- [1] Juklová M.: Právní požadavky na osvětlení a české technické normy – část 1, Světlo – časopis pro světelnou techniku a osvětlování č.3, FCC Public s. r. o., Praha, 2008
- [2] Juklová M.: Právní požadavky na osvětlení a české technické normy – část 2, Světlo – časopis pro světelnou techniku a osvětlování č.4, FCC Public s. r. o., Praha, 2008

Prof. Ing. Karel Sokanský, CSc., Ing. Tomáš Novák, Ph.D.,
Ing. Marek Bálský, Ing. Zdeněk Bláha, Ing. Zbyněk Čarbol, Ing. Daniel Diviš,
Ing. Blahoslav Socha, Ing. Jaroslav Šnobl, Ing. Jan Šumpich, Ing. Petr Závada

Světelná technika

Vydalo České vysoké učení technické v Praze,

Zikova 1905/4, 166 36 Praha 6

Grafický návrh obálky: Michaela Kubátová Petrová

Vytiskl EUROPRINT, a.s., Pod Kotlářkou 3, 150 00 Praha 5

Počet stran 256

Vydání první. Praha 2011

ISBN 978-80-01-04941-9