

Česká společnost pro osvětlování



Racionalizace v osvětlování kancelářských, školských a bytových prostor

Karel Sokanský a kolektiv

OSTRAVA 2004

Publikace je určena pro poradenskou činnost a je zpracována v rámci Státního programu na podporu úspor energie a využití obnovitelných zdrojů energie pro rok 2004 - část A.

Pod vedením Prof. Ing. Karla Sokanského, CSc. z VŠB-TU Ostrava, Fakulty elektrotechniky a informatiky vypracoval tým autorů:

Ing. Tomáš Novák PhD.

Ing. Petr Höchsmann

Ing. Květoslav Kutal

1. ÚVOD

Harmonizační procesy norem v Evropě se bezprostředně dotýká i světelné techniky. Jedná se především o normu ČSN EN 12464 – Světlo a osvětlení pracovních prostorů – Část 1 – Vnitřní pracovní prostory. Tato norma nahrazuje především normu ČSN 360450 – Umělé osvětlení vnitřních prostorů. Nová norma zásadním způsobem ovlivňuje návrhy osvětlení ve vnitřních prostorách a to se promítá do cílů této příručky.

Cílem této příručky je seznámit odbornou i laickou veřejnost s **novými evropskými normami**, co se týče denní, sdruženého a umělého osvětlení, s vazbami mezi nimi a především s **racionalizačními opatřeními**, které napomohou snížit **energetickou náročnost**. Týká se to obytných prostorů, kancelářských prostorů a škol všech stupňů.

Racionalizací se rozumí zavádění nových energetických úsporných zdrojů, svítidel s vysokou účinností a také řízením osvětlovacích soustav a to jak denního tak i umělého osvětlení. Patří sem i **inteligentní řízení osvětlovacích soustav**. Racionalizační opatření v osvětlení jsou zde skloubena racionalizačními opatřeními pro vytápění, klimatizaci, oslunění atd. Integrace do jednoho celku se pak označuje pojmem **inteligentní řízení budov**.

2. ZÁKLADY SVĚTELNÉ TECHNIKY

2.1. Podstata světla, zrakový systém

2.1.1. Podstata světla

Světlo je elektromagnetické záření, které je schopno prostřednictvím zrakového orgánu vzbudit zrakový vjem. Záření lze charakterizovat frekvencí anebo vlnovou délkou. Vlnové délky viditelného světla jsou v rozmezí $(3,8 \text{ až } 7,8) \cdot 10^{-7} \text{ m}$. S viditelným světlem sousedí ultrafialové záření na straně kratších vlnových délek a infračervené záření na straně delších vlnových délek. Ke vzniku světla v současných světelných zdrojích dochází z hlediska druhu dodávané energie a látky, ve které se tato energie mění na světelnou na těchto třech základních principech:

- inkandescencí neboli tepelným buzením vznikajícím při zahřátí pevné látky na vysokou teplotu
- vybuzením atomů v elektrickém výboji
- luminiscencí pevných látek

Typickým představitelem prvního typu světelných zdrojů jsou obyčejné a halogenové žárovky. Dodávanou energií je energie tepelná, vzniklá průchodem elektrického proudu wolframovým vláknem. Druhý typ představují všechny nízkotlaké a vysokotlaké výbojové zdroje, to znamená zářivky, rtuťové, sodíkové, halogenidové a nové typy výbojek popsané v kapitole 9. 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 nastává v tzv. luminoforu, což je u zářivky světlá vrstva látky nanesená na vnitřní povrch trubice. Zářivka bez luminoforu vyzařuje hlavně na vlnové délce $\lambda = 2,53 \cdot 10^{-7} \text{ m}$. Toto záření patří do oblasti ultrafialového záření. Při použití luminoforu se ultrafialové záření transformuje do viditelné oblasti. Zářivka s luminoforem vyzařuje podstatně více světla než zářivka bez luminoforu.

2.1.2. Zrakový systém, zrakové mechanismy

Oko je smyslový orgán obsahující optický aparát a přijímající systém - sítnici, sloužící k vytvoření převráceného, souměrného a neskutečného obrazu. Sítnice je tvořena systémem fotoreceptorů (čípky, tyčinky) a dále velmi složitým systémem neuronů (nervových buněk) a nervových (reléových) spojů, které dopadající obraz registrují, provádějí jeho selekci, užitečnou část informace o obrazu zpřesní a transformují do přenosového systému nervových vláken formou nervových podráždění. Nervová vlákna z celé sítnice se sjednocují ve zrakovém nervu, který vyúsťuje v konečné fázi ve zrakovém mozkovém centru. Centrum nejen pasivně přijímá informace, nýbrž také systémem zpětných vazeb řídí funkci jak optického aparátu oka, tak i sítnice, aby přijímaná informace byla co nejpřesnější a zároveň aby byla oproštěna v co největší míře od rušivých vlivů působících na vstup zrakového ústrojí.

Vidění neboli zrakové vnímání je proces poznávání okolního prostředí. Jedná se o proces příjmu zrakové informace, rozlišení rozdílů (kontrastu) jasů a barev, tvarů, a na základě tohoto dochází k identifikaci a analýze. To je poznávání předmětů a vztahů mezi nimi a nakonec zařazení do našeho vědomí, buď k okamžitému použití pro danou činnost, nebo k uložení do paměti. **Cílem vidění je tedy poznávání.**

Množství informace získané zrakem a přenášené do mozku člověka je možno charakterizovat **informačním výkonem**. Jeho velikost stoupá se zvyšujícími se osvětlenostmi a tudíž i jasy pozorovaných objektů.

Informační výkon stoupá se zvyšující se osvětleností, ale jeho nárůst je limitován maximální přenosovou kapacitou informačního kanálu. Na nárůst informačního, resp. zrakového výkonu má proto podstatně větší vliv zvýšení osvětlenosti v oblasti relativně nízkých hladin (50 lx), než zvyšování poměrně vysokých osvětleností v oblasti nad 500 lx. Tyto skutečnosti je třeba mít na zřeteli při navrhování jak denního, tak umělého osvětlení.

Mezi základní zrakové mechanismy patří akomodace a adaptace.

Akomodace je samovolné přizpůsobení se oka vzdálenosti pozorovaného předmětu. Oko dosahuje akomodací zostření obrazu na sítnici. Akomodace je aktivní proces dosahovaný nervovou činností, při které se mění zakřivení čočky oka. Nejbližší bod, který může plně akomodované oko vidět ostře se nazývá blízký bod. Tento bod se s přibývajícím věkem vzdaluje a to od 10 cm u dětí do 50 cm u padesátileté osoby.

Adaptace je přizpůsobení se oka různým hladinám osvětlenosti. Oko je schopno vnímat při osvětlenostech od hodnot 0,25 lx až do 10^5 lx. Adaptace je dvojitá. Adaptace na tmou trvá až 40 minut. Adaptace na světlo trvá 5 až 7 minut. Optický systém oka je charakterizován ostroty zobrazení v úrovni sítnice.

Mezi nejznámější vady oka patří krátkozrakost, která se kompenzuje rozptylnými čočkami a dalekozrakost, která se kompenzuje spojnými čočkami. Pokles akomodační schopnosti věkem se nazývá stařecké vidění. Část prostoru, kterou může pozorovatel postřehnout upřeným pohledem bez pohybu oka a hlavy se nazývá **zorné pole**.

Pro posouzení zrakové obtížnosti prováděné práce je důležitý útvar tzv. **kritický detail**, který si oko umísťuje do centra zorného pole. Kritickým detailem je např. u žáka písmeno v sešitě, u hodináře kolečko nebo šroubek v hodinkách atd. Pro přímé rozlišení kritického detailu je rozhodující jeho bezprostřední okolí. Kritický detail s **bezprostředním okolím** tvoří pozorovaný předmět. Okolí navazující na bezprostřední okolí se nazývá **pozadí**, zbývající část zorného pole, která se na rozlišení kritického detailu podílí nepřímě se nazývá vzdálené pozadí. Rozlišení předmětů je založeno na schopnosti zrakového orgánu rozeznat rozdíly jasů rozlišovaných detailů, které musí být dostatečné. **Kontrast jasů** K je definován na základě znalostí jasů rozlišovaného detailu L_a a jasů pozadí L_b dle vztahu:

$$K = \frac{|L_a - L_b|}{L_b} \quad (-; \text{cd.m}^{-2}, \text{cd.m}^{-2}) \quad (2.1)$$

Nejmenší rozlišitelný rozdíl jasů se nazývá **práh rozlišitelnosti jasů**.

Zrakový orgán není stejně citlivý na záření různých vlnových délek. Největší citlivost oka při dobrém osvětlení je na vlnové délce okolo $5,55 \cdot 10^{-7}$ m. Spektrální citlivost zraku normálního fotometrického pozorovatele je dána křivkou spektrální citlivosti, která je normovaná. Při nočním vidění dochází k posunu křivky z maxima $5,55 \cdot 10^{-7}$ m na hodnotu $5,07 \cdot 10^{-7}$ m.

Barevné vidění je schopnost rozlišovat pestré barvy, to znamená barvy, mající barevný tón. Barevné vidění usnadňuje identifikaci barevných předmětů v prostoru a rozšiřuje naše

identifikační možnosti. Barevné vidění se vysvětluje tzv. třísloužkovou teorií, to znamená, že v sítnici oka jsou tři různé typy fotoreceptorů, z nichž každý je jinak citlivý na různé vlnové délky. Jeden je citlivý na červenou, druhý na zelenou a třetí na modrou barvu. Všechny ostatní barvy vnímá tak, že dochází k aditivnímu mísení těchto tří základních barev v různých poměrech.

Vyskytují-li se v zorném poli oka příliš velké jasy nebo jejich rozdíly nebo vzniknou-li časové kontrasty jasů, které výrazně překračují meze adaptability zraku vzniká **oslnění**. Oslnění ruší zrakovou pohodu, zhoršuje až znemožňuje vidění.

Podle příčiny se rozlišuje jednak oslnění přímé, způsobené nadměrným jasnem svítících částí svítidel nebo hlavních světelně činných povrchů prostoru (např. stropu a stěn při nepřímém osvětlení), jednak oslnění odrazem, způsobené odrazy svítících ploch na lesklých částech pozorovaných předmětů a jejich bezprostředního okolí. Při náhlé změně adaptačního jasu (např. při náhlém přechodu z tmavšího do světlejšího prostředí), které se zrakový systém nestačí dostatečně rychle přizpůsobit, dochází k oslnění přechodovému. Zvláštním případem je oslnění závoje, které vzniká, je-li před pozorovaným pozadím prostředí s vyšším jasnem, např. při pozorování přes osvětlenou záclonu, při mlze před světlomety, zrcadlení ve skle a podobně.

Z hlediska světelné techniky je nejdůležitější oslnění kontrastem (relativní oslnění), způsobené tím, že se v zorném poli vyskytnou jasy (např. vlivem primárních či sekundárních zdrojů) příliš vysoké v porovnání s jasnem, na který je zrak adaptován. Podle psychofyzilogických následků se oslnění kontrastem člení na:

oslnění psychologické $\begin{cases} \text{pozorovatelné} \\ \text{rušivé} \end{cases}$

oslnění fyziologické $\begin{cases} \text{omezující} \\ \text{oslepující} \end{cases}$

Dynamický režim oka souvisí s dvěma mechanismy zrakového orgánu. Jsou to rychlost vnímání a setrvačnost zrakového vjemu.

Rychlost vnímání je dána převrácenou hodnotou doby od vzniku světelného podnětu v zorném poli do jeho uvědomění. Tato doba je především funkcí jasu. Při jasu předmětu v zorném poli $0,15 \text{ cd.m}^{-2}$ je to 1 s, při jasu 1 cd.m^{-2} je to asi 0,5 s a zmenšuje se při zvyšování jasu až do 300 cd.m^{-2} . Toto zjištění je důležité všude tam, kde je třeba rychle reagovat. Rychlost vnímání ovlivňuje také zraková pozornost, kontrast jasů, mění se s fyzickým a duševním stavem atd.

Setrvačnost zrakového vjemu je schopnost adaptačních mechanismů udržet zrakový vjem ještě určitou dobu potom, co světelný podnět skončil. Uvádí se, že např. blesk, který trvá několik μs vyvolá vjem, trvající asi 0,3 s. Mění-li se intenzita světelných podnětů s frekvencí větší než je tzv. frekvence splývání, je zrakový vjem stejný jako při nepřerušovaném světelném podnětu s intenzitou rovnou aritmetickému průměru intenzit přerušovaných podnětů.

Je-li frekvence světelných podnětů nižší než frekvence splývání, může míhající světlo vyvolat nepříjemný pocit, čímž je narušen zrakový vjem. Bylo zjištěno, že rušivost je ovlivněna hlavně amplitudou, tvarem a frekvencí světelných podnětů. Nejvíce ruší frekvence mezi 8 –12 Hz. Největší míhání světla v závislosti na kolísání napětí vyvolávají žárovky, následují vysokotlaké výbojky, nejméně míhají zářivky.

2.2. Základní světelnětechnické pojmy a veličiny

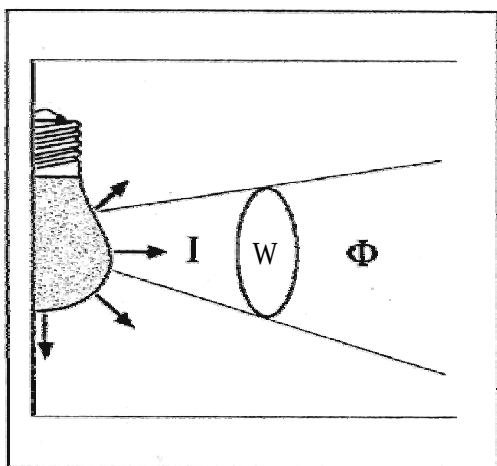
2.2.1. Přehled pojmů a veličin

➤ Světelný tok $[F] = \text{lm}$ (lumen)

Světelný tok udává, kolik světla celkem vyzáří zdroj do všech směrů. Jde o světelný výkon, který je posuzován z hlediska lidského oka.

➤ Svítivost $[I] = \text{cd}$ (kandela)

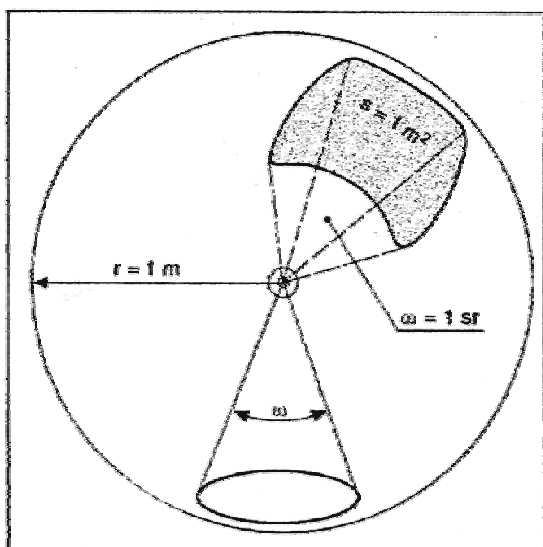
Veličina udává, kolik světelného toku Φ vyzáří světelný zdroj nebo svítidlo do prostorového úhlu Ω v určitém směru.



Obr.2.1: Definice svítivosti

➤ Prostorový úhel $[W] = \text{sr}$ (steradián)

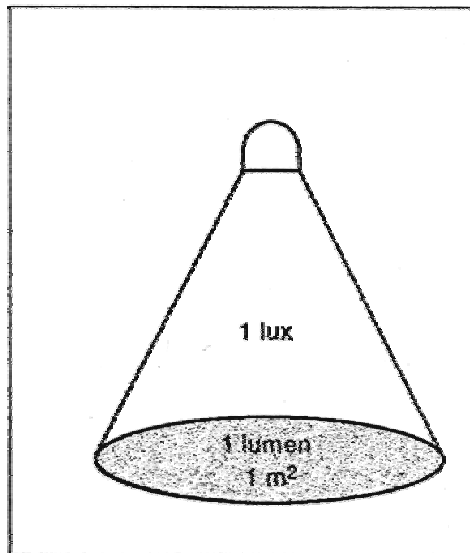
Prostorový úhel je úhel při vrcholu kuželu. Jeho velikost je definována jako poměr kulové plochy A , kterou vyřezává úhel Ω v kulové ploše o poloměru r a druhé mocniny tohoto poloměru ($\Omega = A / r^2$). Prostorový úhel má hodnotu 1 steradián, když vyřízne z kulové plochy koule o poloměru 1 m plochu 1 m^2 .



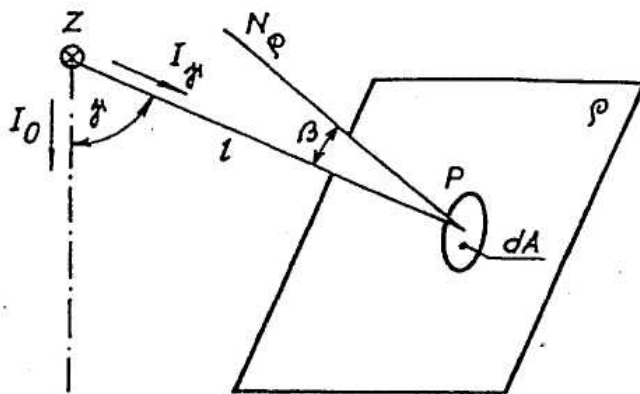
Obr. 2.2 Definice prostorového úhlu

- Osvětlenost (intenzita osvětlení) $[E] = \text{lx}$ (lux)

Veličina udává, jak je určitá plocha osvětlována, t.j. kolik lm světelného toku dopadá na 1 m^2 .



Obr. 2.3 Definice osvětlení



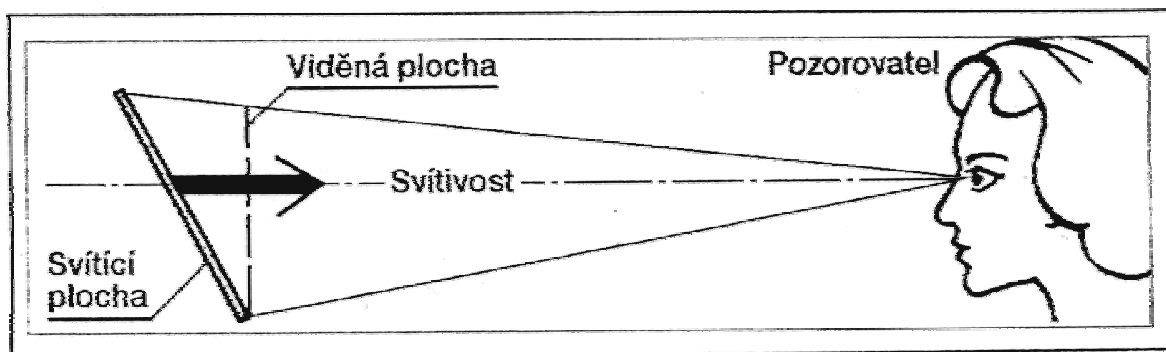
Obr. 2.4 Osvětlenost od bodového zdroje

- Světlení $[H] = \text{lm} \cdot \text{m}^{-2}$ (lumen na metr čtvereční)

Tato veličina stanovuje velikost světelného toku vycházejícího z plochy.

- Jas $[L] = \text{cd} \cdot \text{m}^{-2}$ (kandela na metr čtvereční)

Jas je měřítkem pro vjem světlosti svítícího nebo osvětlovaného povrchu.



Obr. 2.5 Definice jasu

- Měrný světelný výkon $[h] = \text{lm} \cdot \text{W}^{-1}$ (lumen na watt)

Udává, s jakou účinností je ve zdroji světla elektrina přeměňována na světlo, t.j. kolik lm světelného toku se získá z 1 W elektrického příkonu.

- Teplota chromatičnosti $[T_c] = \text{K}$ (kelvin)

Teplotou chromatičnosti zdroje je označována ekvivalentní teplota tzv. černého zářiče (Planckova), při které je spektrální složení záření těchto dvou zdrojů blízké. Zvýší-li se teplota absolutně černého tělesa, zvýší se podíl modré části spektra a sníží se červený podíl. Žárovka

s teple bílým světlem má např. teplotu chromatičnosti 2700 K, zářivka se světlem podobným dennímu má teplotu chromatičnosti 6000 K. Spektrum žárovek a halogenových žárovek je velmi blízké černému zářiči, takže je zřejmá souvislost mezi spektrem a teplotou chromatičnosti.

➤ Index barevného podání $[R_a] = -$ (bezrozměrná veličina)

Každý světelný zdroj by měl podávat svým světelným tokem barvy okolí věrohodně, jak je známe u přirozeného světla nebo od světla žárovek.

Měřítkem pro tuto vlastnost se stává všeobecný index barevného podání R_a daný rozsahem $100 \div 0$.

➤ Oslnění

Vyskytují-li se v zorném poli oka příliš velké jasy nebo jejich rozdíly, popřípadě vzniknou-li velké prostorové či časové kontrasty jasů, které významně překračují meze adaptability zraku, vzniká oslnění. Oslnění je tedy nepříznivý stav zraku, k němuž dochází, je-li sítnice nebo její část vystavena jasu vyššímu, než na jaký je oko adaptováno. Oslnění je tím větší, čím větší je jas oslňujícího zdroje ve srovnání s jasnem adaptačním, čím větší je prostorový úhel, pod kterým je z daného místa oslňující zdroj vidět. Dále záleží na poloze oslňujícího zdroje vzhledem k ose pohledu pozorovatele. Oslnění hodnotíme indexem oslnění, eventuelně činitelem oslnění.

➤ Život světelného zdroje $[T] = h$ (hodina)

Život světelného zdroje je doba funkce zdroje do okamžiku, kdy přestal splňovat stanovené požadavky. Obvykle se vyjadřuje v hodinách. V průběhu činnosti probíhají ve světelném zdroji různé procesy, které způsobují postupné změny jeho parametrů, a určují tak možnosti jeho funkce. V této souvislosti se používá pojem užitečný a fyzický život. Ukazatelem je křivka úmrtnosti, která udává, kolik zdrojů z daného souboru svítí v časovém průběhu až do 50% výpadků.

Užitečný život je doba funkce zdroje, během níž si jeho parametry zachovávají hodnoty ležící v určitých stanovených mezích. Např. u zářivek je užitečný život definován jako doba, během níž neklesne jejich světelný tok pod 70% počáteční hodnoty.

Fyzický život je celková doba svícení do okamžiku úplné ztráty provozuschopnosti (např. u žárovek do přerušení vlákna, u výbojek do ztráty schopnosti zapálit výboj).

2.2.2. Základní výpočetní vztahy

➤ Měrný (světelný) výkon

$$\eta = \frac{\Phi}{P} \quad (\text{lm} \cdot \text{W}^{-1}; \text{lm}, \text{W}) \quad (2.2)$$

Φ světelný tok
 P elektrický příkon

U zdrojů bez předřadníků to znamená žárovek je výkon zdroje totožný s příkonem svítidla, u zdrojů s předřadníkem jako jsou zářivky anebo výbojky je nutno k příkonu světelného zdroje přičíst příkon předřadníku. Např. jednotrubicové svítidlo s zářivkou 36 W bude mít při

klasickém předřadníku příkon asi o 5 W vyšší, to je 45 W. Navýšení příkonu pokrývá ztráty v předřadníku (tlumivce).

➤ Svítivost

$$I = \frac{\Phi}{\Omega} \quad (\text{cd; lm, sr}) \quad (2.3)$$

Ω prostorový úhel

➤ Osvětlenost (intenzita osvětlení)

$$E = \frac{\Phi}{A} \quad (\text{lx; lm, m}^2) \quad (2.4)$$

A osvětlená plocha (viz obr. 2.3)

Osvětlenost bodového zdroje (žárovky nebo výbojky) lze vypočítat pomocí čtvercového a kosinového zákona viz obr. 2.4 dle následujícího vztahu:

$$E_{p\rho} = \frac{I_{\gamma} \cdot \cos \beta}{l^2} \quad (\text{lx; cd, m}) \quad (2.5)$$

Osvětlenost lze považovat při navrhování osvětlovacích soustav za nejdůležitější veličinu, protože počet luxů pro jednotlivé pracovní činnosti a prostory jsou předepsány v normách a pro projektanty jsou tyto hladiny osvětlenosti závazné.

➤ Jas

$$L = \frac{I}{S_p} \quad (\text{cd.m}^{-2}; \text{cd, m}^2) \quad (2.6)$$

S_p viděná svítící plocha (viz obr. 2.5)

➤ Světlení

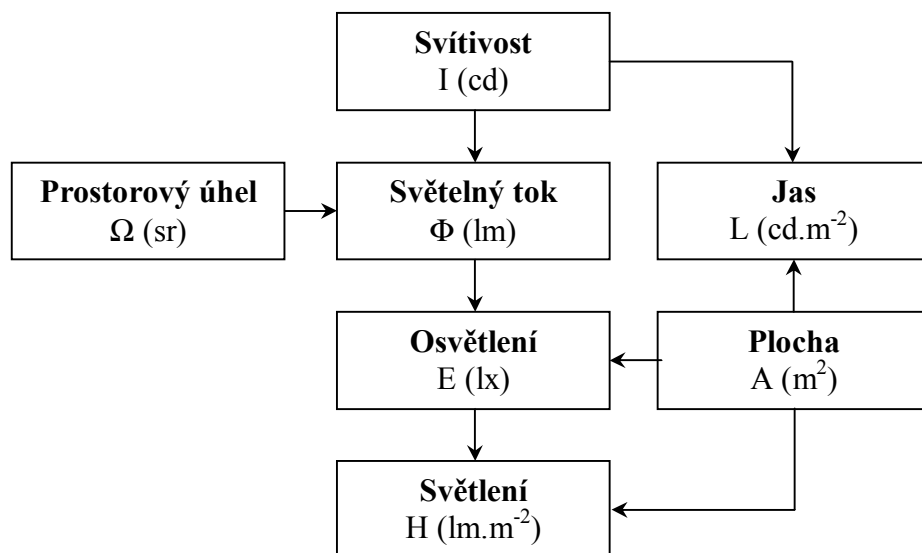
$$H = \frac{\Phi_v}{A_v} \quad (\text{lm.m}^{-2}; \text{lm, m}^2) \quad (2.7)$$

Φ_v světelný tok vyzářený svítidlem

A_v plocha, ze které světelný tok vyzařuje

➤ Celková rovnoměrnost osvětlenosti (jasů)

$$\frac{E_{\min}}{E_p} \approx \frac{L_{\min}}{L_p} \quad (2.8)$$



Obr. 2.6 Soustava fotometrických veličin

2.2.3. Světelně technické vlastnosti látek

Světelný tok Φ , který dopadá na povrch nějakého tělesa se od tohoto povrchu částečně odrazí Φ_ρ , částečně projde Φ_τ a část tohoto toku je tělesem pohlcena Φ_α . Činitele odrazu ρ , propustnosti τ a pohlcení α jsou dány vztahy

$$\rho = \frac{\Phi_\rho}{\Phi} \quad (-; \text{lm}, \text{lm}) \quad (2.9)$$

$$\tau = \frac{\Phi_\tau}{\Phi} \quad (-; \text{lm}, \text{lm}) \quad (2.10)$$

$$\alpha = \frac{\Phi_\alpha}{\Phi} \quad (-; \text{lm}, \text{lm}) \quad (2.11)$$

Mezi těmito činiteli platí známá vzájemná souvislost

$$\rho + \tau + \alpha = 1 \quad (2.12)$$

Je třeba upozornit na to, že činitele ρ , τ , α nezávisí jen na vlastnostech samotné sledované látky a na úhlu dopadu světla, ale také na vlnové délce dopadajícího světla.

Rozložení světelného toku, odraženého od povrchu určité látky, může být rozličné. Nejjednodušším případem je tzv. zrcadlový odraz, kdy se světelné paprsky od daného povrchu odrážejí pod stejným úhlem, pod kterým na povrch dopadly.

Rozdělí-li se světelný tok odražený od určitého elementu povrchu tak, že jas tohoto elementu uvažované plochy je ve všech směrech stejný ($L_\gamma = L = \text{konst.}$), jde o rovnoměrně rozptylný, neboli **difuzní odraz**. Svítivost takového ideálního rozptylovače je maximální (I_0) v kolmém směru. V ostatních směrech je svítivost I_γ určena kosinovým zákonem; to znamená, že se stanoví z výrazu

$$I_\gamma = I_0 \cdot \cos \gamma \quad (\text{cd; cd, -}) \quad (2.13)$$

Důležitá je u difuzních povrchů souvislost mezi jejich světlením M a konstantní hodnotou jasu L , určená rovnicí

$$M = \pi \cdot L \quad (\text{lm.m}^{-2}; \text{cd.m}^2) \quad (2.14)$$

Ideální rozptylovač o velikosti A (m^2) vyzařuje tedy světelný tok Φ_v , který se stanoví ze vztahu

$$\Phi_v = M \cdot A = \pi \cdot L \cdot A = \pi \cdot I_0 \quad (\text{lm, lm.m}^{-2}; \text{m}^2, \text{cd.m}^{-2}, \text{m}^2, \text{cd}) \quad (2.15)$$

Dopadá-li na rovnoměrně rozptylně odrážející povrch o velikosti A (m^2) světelný tok Φ a jeli ρ činitel odrazu tohoto povrchu, pak se od povrchu odráží tok

$$\Phi_\rho = \rho \cdot \Phi \quad (\text{lm, -, lm}) \quad (2.16)$$

Vydělíme-li předchozí rovnici velikostí A uvažovaného povrchu, dostaneme na levé straně poměr Φ_ρ / A , což je střední hodnota světlení M plochy A a na pravé straně pak bude poměr Φ / A rovný střední hodnotě osvětlenosti E plochy A , tzn., že mezi světlením a osvětleností platí v uvažovaném případě vztah

$$M = \rho \cdot E \quad (\text{lm.m}^{-2}; -, \text{lx}) \quad (2.17)$$

Z výrazů (2.17) a (2.14) vyplývá pro praxi velmi důležitá souvislost mezi osvětleností E a jasnem L rovnoměrně rozptylně odrážející plochy

$$\pi \cdot L = \rho \cdot E \quad (\text{cd.m}^{-2}; -, \text{lx}) \quad (2.18)$$

Zkoumáme-li prostup světla určitým materiálem, zjišťujeme, že u některých látek čirých nebo dokonale průhledných (např. optická skla, tenké vrstvy vody apod.) dochází k přímému prostupu, kdy látkou prošlé paprsky vycházejí v původním, i když rovnoběžně posunutém směru. Mnohé látky však jimi prošlý světelný tok částečně nebo úplně rozptylují. V případě ideálního rovnoměrně rozptylného prostupu světelných paprsků se rozložení svítivosti řídí kosinovým zákonem. Světelné technické vlastnosti takového povrchu jsou pak stejné, jako povrchu difúzně odrážejícího.

Prakticky ovšem neexistují ani ideální zrcadla, ani ideální rozptylovače. Zrcadla v různém stupni také světlo poněkud rozptylují a naopak matné, mdlé či drsné povrchy používané k rozptýlení světla vykazují určitý zrcadlový účinek. Pro charakteristiku materiálů s takovým smíšeným odrazem či prostupem světla se odrazné (prostupové) vlastnosti charakterizují činitelem jasu, definovaným jako podíl skutečné hodnoty jasu k jasu dokonalého rozptylovače.

2.2.4. Prostorové charakteristiky osvětlení

Osvětlovaný prostor je možno posuzovat jako světelné pole, v jehož libovolném bodě lze výpočtem nebo měřením potvrdit existenci světla určením některé světelně technické veličiny, např. osvětlenosti rovinné plochy. K ocenění prostorových vlastností osvětlení, se nejčastěji využívá veličin, které každému bodu pole přiřazují pouze jednu hodnotu, a nazývají se proto integrální charakteristiky světelného pole. Jde zejména o světelný vektor s a střední kulovou osvětlenost $E_{4\pi}$. Hodnoty integrálních charakteristik se udávají v luxech.

Velikost **světelného vektoru** e je rovna rozdílu osvětleností obou stran plošky umístěné v daném bodě pole kolmo k výslednému směru šíření záření. Orientovaný směr světelného vektoru je shodný s orientovaným směrem přenosu světelné energie. Světelný vektor v daném bodě charakterizuje převažující tok světelné energie a určuje tedy směrovost osvětlení. V poli jediného bodového zdroje je v daném bodě světelný vektor roven přímo normálové osvětlenosti E_N .

Střední kulová osvětlenost $E_{4\pi}$ je definována jako střední hodnota osvětlenosti povrchu koule zanedbatelných rozměrů, jejíž střed se umístí do uvažovaného bodu pole. Jde o skalární veličinu rovnou jedné čtvrtině součtu všech normálových osvětleností v daném bodě

$$E_{4p} = \frac{1}{4} \sum_{i=1}^n E_{N_i} \quad (lx, lx) \quad (2.19)$$

Střední kulové osvětlenosti se využívá k objektivnímu vystižení subjektivního dojmu pozorovatelů o dostatečnosti prosvětlení uvažovaného prostoru.

Kvalita vjemu trojrozměrných předmětů je podmíněna zejména schopností osvětlení vytvářet na trojrozměrných předmětech stíny, tj. stínivosti osvětlení. Stupeň stínivosti hodnotí poměrem světelného vektoru ke střední kulové osvětlenosti (**činitel podání tvaru** $P = e / E_{4\pi}$). Nejvyššího stupně stínivosti a tudíž nejvyšší hodnoty činitele podání tvaru P se docílí v poli jediného svítidla bodového typu. Naopak v případě zcela difuzního osvětlení je $e = 0$, a proto i činitel podání tvaru je $P = 0$.

Zavedením integrálních charakteristik světelného pole se podstatně rozšiřují možnosti objektivního hodnocení kvality osvětlovacích soustav, a to z hlediska vystižení dojmu o dostatečnosti prosvětlení prostoru, a také z hlediska úrovně vjemu trojrozměrných předmětů.

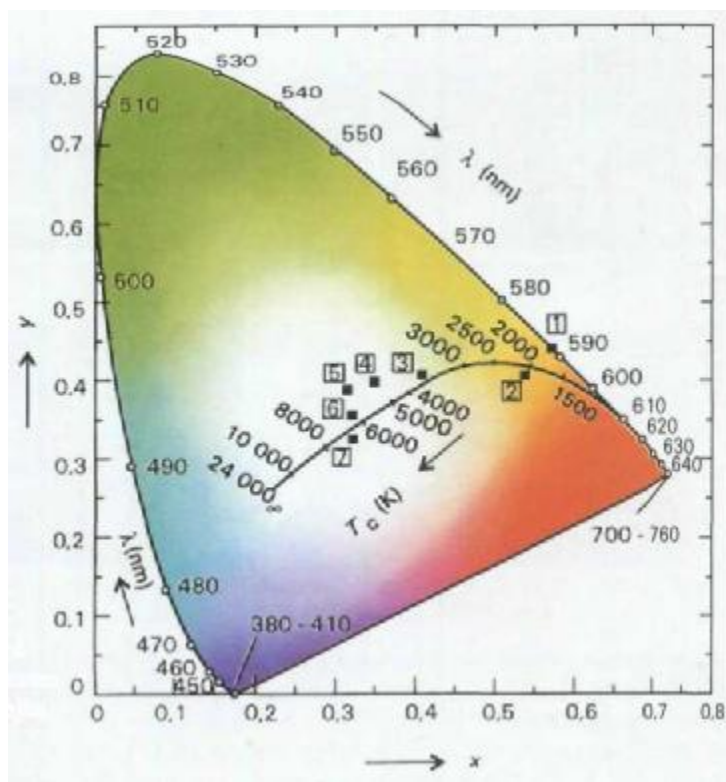
2.2.5. Barevné vlastnosti zdrojů a předmětů

Světlo vybuzuje nejen zrakový vjem, ale také barevný počitek. Barevné vlastnosti primárních zdrojů se označují názvem **chromatičnost**, barevné vlastnosti sekundárních zdrojů se označují názvem **kolorita**. Záření každé vlnové délky viditelného světla budí zcela určitý barevný počitek. Každému barevnému počitku odpovídá určitá spektrální barva, kterou popisujeme **barevným tónem**. Jednotlivé barevné tóny viditelného (bílého) světla se nacházejí v následující tabulce:

Tab. 2.1 Barevné tóny viditelného světla

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

Barvy, které mají barevný tón jsou barvy pestré, ostatní jsou barvy nepestré. Nepestré barvy nemají barevný tón a tvoří spojitou řadu od bílé až po černou. Ke specifikaci barev se používají trichromatické soustavy (viz obr. 2.7) a teplota chromatičnosti, Munsellův atlas se používá k určování kolority. Z praktického hlediska je důležitý pojem **podání barev**. Vjem barev určitého předmětu je podmíněn jednak spektrálním složením záření světelného zdroje osvětlujícího předmět a jednak spektrálním činitelem odrazu anebo prostupu pozorovaného předmětu.



Obr. 2.7. Příklad trichromatické soustavy x, y - Normální trojúhelník barev -diagram chromatičnosti

Poloha černých čtverečků označených číslicí odpovídá těmto světelným zdrojům

- 1 – nízkotlaká sodíková výbojka
- 2 – vysokotlaká sodíková výbojka
- 3 – směšová výbojka
- 4 – vysokotlaká rtuťová výbojka
- 5 – vysokotlaká rtuťová výbojka s luminoforem
- 6 – halogenidová výbojka
- 7 – xenonová výbojka

Literatura:

- [2.1] Plch, J.: Světelná technika v praxi, Praha, 1999.
- [2.2] Habel, J.: Světelná technika a osvětlování, FCC Public, 1995.
- [2.3] Sokanský, K.: Inteligentní řízení osvětlovacích soustav vnitřního osvětlení, Publikace ČEA, Ostrava 2004.
- [2.4] Sokanský, K a kolektiv.: Úspory el. Energie na veřejném osvětlení, Česká společnost pro osvětlování, Ostrava 2002.
- [2.5] Sokanský, K.: Elektrické světlo a teplo, Skripta VŠB-TU Ostrava 1990.

3. DENNÍ OSVĚTLENÍ BUDOV

3.1. Úvod

Denní osvětlení je jedním z nejdůležitějších faktorů, podmiňujících kvalitu životního prostředí ve vnitřních prostorech staveb. Denní světlo má podstatný vliv na zdraví a duševní pohodu lidí a také na jejich náladu a pohotovost k pracovnímu výkonu. Denní světlo je často také jediným pojítkem s přírodním vnějším prostředím.

Nedostatečné denní osvětlení v nevhodně řešených budovách není možné dodatečnými úpravami zlepšit buď vůbec, nebo jen ve velmi omezené míře a za cenu velkých nákladů.

Denní osvětlení je přímým a hospodárným využitím sluneční energie, bez potřeby akumulace nebo transformace, a znamená podstatný přínos v energetické bilanci budovy.

3.2. Základní pojmy

Denní osvětlení je osvětlení denním světlem, dopadajícím na zemi jednak jako přímé sluneční světlo a jednak jako oblohové (difuzní) světlo rozptýlené atmosférou (molekulami vzduchu, částicemi aerosolů, oblaků a jinými částicemi).

Na denním osvětlení vnitřních prostorů se podílí i denní světlo odražené od venkovních i vnitřních povrchů.

Boční denní osvětlení je denní osvětlení osvětlovacími otvory v obvodové konstrukci budovy.

Horní denní osvětlení je denní osvětlení osvětlovacími otvory ve střešní konstrukci budovy.

Kombinované denní osvětlení je kombinace bočního a horního denního osvětlení v jednom vnitřním prostoru.

Činitel denní osvětlenosti je podíl osvětlenosti dané roviny přímým i odraženým oblohovým světlem a současně zjištěné hodnoty srovnávací osvětlenosti venkovní nezastíněné vodorovné roviny za předpokládaného nebo známého rozložení jasu oblohy. Přímé sluneční světlo je z obou osvětleností vyloučeno. Hodnoty činitele denní osvětlenosti se udávají v procentech.

Izofota je čára spojující místa stejných (vybraných, zaokrouhlených) hodnot činitele denní osvětlenosti na srovnávací rovině.

Trvalý pobyt znamená pobyt lidí ve vnitřním prostoru nebo v jeho funkčně vymezené části, který trvá v průběhu jednoho dne (za denního světla) déle než 4 hodiny a opakuje se při trvalém užívání budovy více než jednou týdně.

Poměrná pozorovací vzdálenost je podíl vzdálenosti kritického detailu od oka pozorovatele a rozměru kritického detailu.

3.3. Časový průběh denního osvětlení

Venkovní denní osvětlení se během dne i roku neustále mění co do úrovně, rozložení světelného toku i spektrálního složení světla. Prvotním zdrojem denního světla je slunce svým přímým zářením, druhotným zdrojem je pak obloha s difúzním světlem, vznikajícím

rozptylem přímého slunečního světla v atmosféře. Periodické změny denního osvětlení závisejí na pohybu slunce po obloze. Kromě toho vznikají nepravidelné změny vlivem měnící se oblačnosti, od jasné oblohy přes polojasnou až k rovnoměrně zatažené.

Hraniční podmínky, za kterých denní osvětlení vnitřních prostorů ještě má vyhovuje. Nastávají v zimním období, kdy je slunce v malém úhlu nad obzorem a obloha je rovnoměrně zatažená.

Jas rovnoměrně zatažené oblohy se zvyšuje směrem od horizontu k zenitu podle vztahu

$$L_g = \frac{1}{3} \cdot L_z \cdot (1 + 2 \cdot \sin g) \quad (\text{cd.m}^{-2}, \text{cd.m}^{-2}), \quad (3.1)$$

kde L_g je jas oblohy v úhlu g nad horizontem, L_z je jas oblohy v zenitu.

Uvedené rozdělení jasu oblohy platí pro běžný tmavý terén. Ze vztahu (3.1) je zřejmé, že jas oblohy při horizontu je roven jedné třetině jasu oblohy v zenitu.

V místech s dlouhotrvající sněhovou pokrývkou (ve vyšších nadmořských výškách nad 600 m) se může v podmínkách zimního období při velmi světlém terénu použít rozdělení jasu, určené výrazem

$$L_g = \frac{1}{2} \cdot L_z \cdot (1 + \sin g) \quad (\text{cd.m}^{-2}, \text{cd.m}^{-2}) \quad (3.2)$$

Jas této oblohy u horizontu je roven jedné polovině jasu oblohy v zenitu. Podmínky denního osvětlení vnitřních prostorů jsou tedy v tomto případě příznivější, než při tmavém terénu, zejména při bočním osvětlení.

V zimním období při rovnoměrně zatažené obloze a tmavém terénu jsou charakteristické jasy oblohy přibližně od 700 cd.m^{-2} při horizontu do 2 000 cd.m^{-2} v zenitu. V letním období jsou při zatažené obloze jasy podstatně vyšší, přibližně od 3 000 cd.m^{-2} při horizontu do 8 000 cd.m^{-2} v zenitu.

Při jasné obloze není její průměrný jas velký, převážně je menší než 4 000 cd.m^{-2} a zvyšuje se jen v blízkosti slunce.

Jas polojasné oblohy je ovšem nepravidelný a závisí na charakteru a zbarvení oblačnosti. Bílá oblaka ozářená sluncem mohou mít jas až okolo 10 000 cd.m^{-2} .

Osvětlenost venkovní nezastíněné vodorovné roviny je v zimním období převážně mezi 5 000 až 10 000 lx, pro letní období jsou charakteristické vyšší hodnoty okolo 20 000 lx. Při jasné a polojasné obloze s přímým slunečním svitem dosahuje venkovní osvětlenost hodnot až 100 000 lx, tedy řádově vyšších, než jsou běžné při umělém osvětlení.

Minimální hraniční hodnota venkovní osvětlenosti 5 000 lx se v zimních měsících s krátkým dnem vyskytuje jen asi po 4 hodiny denně, kdežto v letním období až 13 hodin denně. Podle toho je také možné stanovit **celkovou dobu využití denního světla** v jednotlivých měsících i během celého roku pro různé druhy vnitřních prostorů.

3.4. Podmínky denního osvětlení ve vnitřních prostorech

Pro zabezpečení dobrého denního osvětlení a zrakové pohody při něm je nezbytné respektovat jak kvantitativní stránku, tedy dostatečné množství světla pro dané zrakové činnosti, tak stránku kvalitativní, směřující zejména k optimálnímu rozložení jasů pozorovaných ploch v zorném poli.

Z kvantitativního hlediska se, vzhledem k neustálé proměnlivosti denního osvětlení, úroveň denního osvětlení vyjadřuje relativní veličinou, a to činitelem denní osvětlenosti podle vzorce

$$D = \frac{E}{E_h} \cdot 100 \quad (\%, lx, lx), \quad (3.3)$$

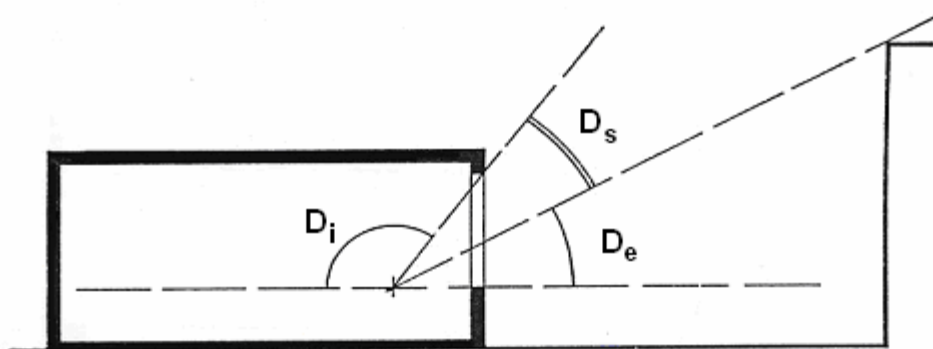
kde

D je hodnota činitele denní osvětlenosti (%)

E je osvětlenost v daném bodě vnitřního prostoru (lx)

E_h je venkovní srovnávací osvětlenost nezastíněné vodorovné roviny (lx)

Činitel denní osvětlenosti má tři složky, rozlišené podle toho, odkud denní světlo na osvětlovanou srovnávací rovinu ve vnitřním prostoru dopadá (viz obr. 3.1).



Obr. 3.1 Složky činitele denní osvětlenosti.

Oblohová složka (D_s) vzniká dopadem světla přímo z oblohy po průchodu osvětlovacím otvorem a má rozhodující podíl na denním osvětlení vnitřních prostorů s vyšší úrovní osvětlení; zejména v blízkosti osvětlovacích otvorů převažuje nad ostatními složkami.

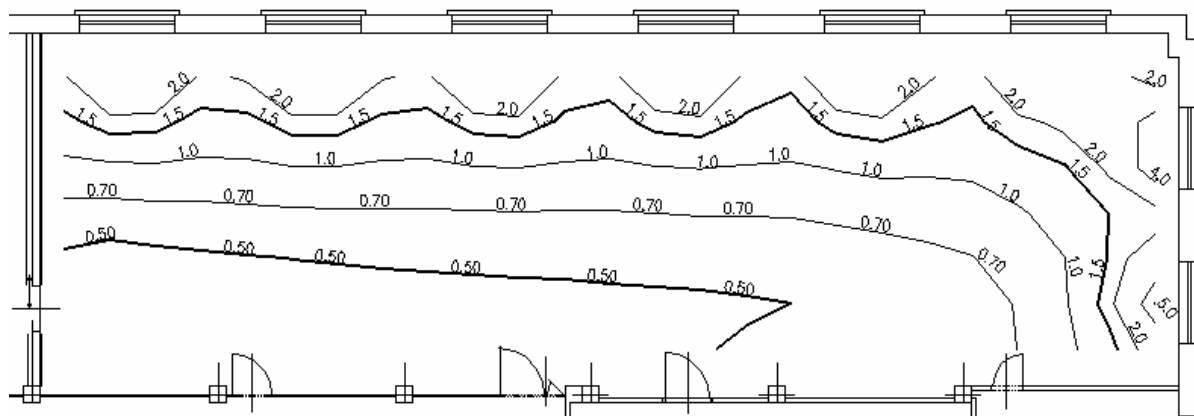
Vnější odražená složka (D_e) vzniká přímým dopadem světla odraženého od venkovních povrchů (staveb, vegetace, terénu atd.). Výrazněji se uplatňuje hlavně u vnitřních prostorů s bočním osvětlením a velkým venkovním stíněním; při malém venkovním stínění je podíl této složky jen nepodstatný.

Vnitřní odražená složka (D_i) vzniká mnohonásobným odrazem světla od povrchů vnitřního prostoru. Na jejím vzniku se podílí jak světlo dopadající přímo z oblohy, tak světlo odražené od venkovních povrchů, včetně přilehlého terénu. Tato složka může výrazně přispívat k úrovni denního osvětlení a lepšímu rozložení světelného toku. Zvláště důležitá je u vnitřních prostorů s bočním osvětlením a větší hloubkou, neboť ve větší vzdálenosti od osvětlovacích otvorů převažuje nad ostatními složkami.

Aby bylo možné posoudit úroveň denního osvětlení a jeho rozložení ve vnitřním prostoru, zjišťují se hodnoty činitele denní osvětlenosti v pravidelné síti kontrolních bodů na vodorovné srovnávací rovině. Výška této roviny je zpravidla 0,85 m nad podlahou, pokud není podle konkrétní funkce prostoru stanovena jinak (např. u komunikací v úrovni podlahy). Kontrolní body se rozmístí tak, že krajní řady bodů jsou vždy vzdáleny 1 m od vnitřních povrchů stěn a ostatní řady jsou v takových vzdálenostech, aby dávaly dostatečný obraz o rozložení denního světla.

Hodnoty činitele denní osvětlenosti se mohou zjišťovat i na jiných důležitých místech (např. na svislé tabuli v učebně, na šikmém pracovním stole atd.).

Názornou představu o rozložení denního světla a vymezení pásem s určitou úrovní osvětlení dávají **izofoty** (viz obr. 3.2), sestojené zpravidla interpolací z hodnot činitele denní osvětlenosti v jednotlivých kontrolních bodech a zvolené tak, aby odpovídaly požadovaným nejmenším hodnotám pro určité zrakové činnosti.



Obr. 3.2 Příklad hodnot izofot činitele denní osvětlenosti při bočním osvětlení.

Z kvalitativního hlediska jsou pro denní osvětlení nejzávažnější:

- rovnoměrnost osvětlení,
- prostorové rozložení světelného toku,
- převažující směr osvětlení,
- výskyt rušivých jevů, zejména oslnění.

Rovnoměrnost denního osvětlení podmiňuje rozložení jasů ve vnitřním prostoru a tím i zrakovou pohodu. Při bočním osvětlení se stanoví jako podíl nejmenší a největší hodnoty činitele denní osvětlenosti v celém vnitřním prostoru, nebo v jeho funkčně vymezené části. Při horním osvětlení je rovnoměrnost dána vztahem nejmenší a průměrné hodnoty činitele denní osvětlenosti opět v celém vnitřním prostoru (v menších prostorech), nebo v jeho funkčně vymezené části, která ovlivňuje zrakovou pohodu uživatele prostoru.

Rozložení denního světla a převažující směr osvětlení mohou být velmi rozdílné podle polohy osvětlovacích otvorů: při bočním osvětlení převažuje osvětlení ze strany, při horním osvětlení zpravidla osvětlení shora, svislé plochy jsou osvětleny méně.

Z rušivých jevů při denním osvětlení je nejzávažnější **oslnění**, které může zhoršovat zrakovou pohodu nebo i omezovat vidění. Oslnění vzniká při denním osvětlení nejčastěji:

- **přímým slunečním světlem** dopadajícím buď přímo do očí pozorovatele, nebo na plochy ve vnitřním prostoru, kde vytváří nadměrné kontrasty jasů proti ostatním plochám, případně je jas světlé plochy tak vysoký, že se mu zrak není schopen přizpůsobit (absolutní oslnění);
- **nadměrnými kontrasty jasů** mezi pozorovaným předmětem a velmi jasnými plochami v blízkosti obvyklého směru pohledu, jako například osvětlovacími otvory s průhledem na oblohu nebo osvětlovacími otvory s rozptýlným materiálem zasklení při jeho ozáření sluncem, jejichž jas může dosahovat velmi vysokých hodnot;
- **odrazem světla** na lesklých plochách, například na pracovních stolech s lesklým nebo pololesklým povrchem, ale také na lesklém papíru knih nebo jiných tiskovin, kde se při denním osvětlení nejčastěji zrcadlí osvětlovací otvory s průhledem na oblohu nebo přímo slunce;
- **přechodovým oslněním** při přechodu mezi sousedními vnitřními prostory s velmi rozdílnou úrovní osvětlení, kdy zrak není schopen se okamžitě přizpůsobit.

3.5. Požadavky na denní osvětlení

Výchozím požadavkem je, že vnitřní prostory určené pro trvalý pobyt lidí během dne musí mít vyhovující denní osvětlení. Pouze výjimečně v případech odůvodněných závažnými příčinami se v těchto prostorech může podle ustanovení ČSN 36 0020-1 použít sdruženého osvětlení, nebo podle hygienických předpisů osvětlení pouze umělého.

Požadavky na úroveň denního osvětlení potřebnou pro různě obtížné zrakové činnosti se stanoví pomocí hodnot činitele denní osvětlenosti na základě zařazení činnosti do tříd podle Tab. 3.1.

Tab.3.1 Třídění zrakových činností a hodnoty činitele denní osvětlenosti v %

Třída zrakové činnosti	Charakteristika zrakové činnosti	Poměrná pozorovací vzdálenost	Hodnota činitele denní osvětlenosti (%)	
			minimální	průměrná
I	mimořádně přesná	≥ 3330	3,5	10
II	velmi přesná	$1670 \div 3330$	2,5	7
III	přesná	$1000 \div 1670$	2,0	6
IV	středně přesná	$500 \div 1000$	1,5	5
V	hrubší	$100 \div 500$	1,0	3
VI	velmi hrubá	< 100	0,5	2
VII	celková orientace	-	0,25	1

Hlavním vodítkem pro zařazení činnosti je poměrná pozorovací vzdálenost kritického detailu zrakového úkolu.

Minimální hodnoty činitele denní osvětlenosti musí být splněny ve všech kontrolních bodech vnitřního prostoru nebo jeho funkčně vymezené části.

Průměrné hodnoty činitele denní osvětlenosti musí být splněny pouze u vnitřních prostorů

- a) s **horním** denním osvětlením,
- b) s **kombinovaným** denním osvětlením, u kterých se horní osvětlení na průměrné hodnotě činitele denní osvětlenosti podílí nejméně jednou polovinou.

Toto rozlišení požadavků na minimální a průměrné hodnoty činitele denní osvětlenosti vychází ze skutečnosti, že u horního osvětlení (nebo u kombinovaného s převahou horního) kolísají hodnoty v celém prostoru okolo určité průměrné hodnoty, na kterou je zrak přizpůsoben, kdežto u bočního osvětlení (nebo u kombinovaného s převahou bočního) stoupá úroveň osvětlení od minimálních hodnot v nejméně osvětleném místě až k vysokým hodnotám v blízkosti osvětlovacích otvorů.

Při zvláštních okolnostech ztěžujících vidění se požadavky na hodnoty činitele denní osvětlenosti mohou ještě zvyšovat.

Při trvalém pobytu lidí ve vnitřním prostoru nebo v jeho funkčně vymezené části musí být minimální hodnota činitele denní osvětlenosti nejméně 1,5 % a průměrná hodnota, pokud se v daném prostoru požaduje, nejméně 3 %, i když pro dané zrakové činnosti stačí hodnoty nižší.

Rovnoměrnost osvětlení v prostorech, kde se požaduje splnění jen minimální hodnoty činitele denní osvětlenosti, nemá být při obtížnějších zrakových činnostech (třídy 1 až IV) menší než 0,2. V prostorech s požadavkem na splnění minimální i průměrné hodnoty je přiměřená rovnoměrnost zabezpečena těmito dvěma hodnotami.

Při častějším přecházení mezi dvěma sousedními vnitřními prostory nesmí poměr úrovní jejich osvětleností být menší než 1 : 5 (například přechod z dobře osvětlené místnosti na chodbu nebo schodiště).

Rozložení denního světla v prostoru má být v souladu s povahou zrakových činností. Pro většinu pracovních činností se doporučuje převažující směr osvětlení zleva, případně shora. Má být vždy doplněn dostatečným přímým nebo odraženým světlem z ostatních směrů, aby byly dobře rozeznatelné jak tvary předmětů, tak i jejich poloha.

Pro zachování podmínek zrakové pohody mají být dodrženy určité hodnoty poměru jasů pozorovaného předmětu a

- a) ploch bezprostředně jej obklopujících 1 : 1 až 3 : 1,
- b) vzdálených tmavých ploch 1 : 1 až 10 : 1,
- c) vzdálených světlých ploch 1 : 1 až 1 : 10.

3.6. Výpočet denního osvětlení dostupnými výpočetními programy

V dnešní době je na trhu celá řada výpočetních programů pro výpočet denního osvětlení vnitřních prostorů a proslunění obytných budov. Tyto programy jsou výkonným prostředky ke stanovení parametrů denního osvětlení, jejichž hodnoty je třeba znát ke správnému návrhu osvětlení tak, aby bylo dosaženo požadovaného zrakového výkonu i zrakové pohody. Výsledky získané těmito programy odpovídají požadavkům ČSN 73 0580 i ČSN 360020. Jako příklad je zde uveden výpočetní program společnosti Astra 92 a.s. pro výpočet denního osvětlení WDLS.

Program obsahuje :

- výpočet činitele denní osvětlenosti (č.d.o.) v zadané síti výpočetních bodů
- výpočet oblohové, vnější i vnitřní složky č.d.o.
- univerzální vektorové zadávání osvětlovacích otvorů s podporou snadnějšího zadávání jednoduchých bočních soustav; samozřejmostí je možnost zadávání střešních oken a světlíků
- možnost zadání soustav vnějších i vnitřních překážek modelujících skutečné tvary prostoru a stínící objekty
- integrovaný výpočet ztrát světla dle ČSN
- pohodlný způsob zadávání vstupních dat pomocí dialogových panelů Windows se současným grafickým zobrazením těchto dat
- export výsledků do programu pro výpočet umělého osvětlení k vyhodnocení sdruženého osvětlení
- podrobnou nápovědu, která Vám usnadní práci s programem

Světelně technické vlastnosti programu:

- oblohová složka č.d.o. se počítá metodou numerické integrace neboli dělení světelných zdrojů – osvětlovacích otvorů
- vnitřní odraženou složku lze v této nové verzi počítat univerzální metodou mnohonásobných odrazů; pro jednodušší případy lze variantně použít pro boční soustavy i empirické metody Krochmann – Kittler a B.R.S., pro horní soustavy metodu tokovou Kovoprojekty Bratislava (ing. Rybár)
- vnější odražená složka se počítá náhradním způsobem - podílem z oblohové složky
- stínící vlastnosti budov, interiérových a stavebních prvků lze respektovat soustavami neprůsvitných odrazných překážek, definovaných jako hranoly
- grafické zobrazení výsledků lze nastavit pro zobrazení izofot

Ostatní vlastnosti programu:

- použitelný pro Windows 95, 98 a Windows NT
- úplná česká diakritika
- export grafických výsledků formátem DXF
- export výsledků do systému Wils

Literatura:

- [3.1] *Plch, J.:* Světelná technika v praxi, Praha, 1999.
- [3.2] *Habel, J.:* Světelná technika a osvětlování, FCC Public, 1995.
- [3.3] *Sokanský, K.:* Inteligentní řízení osvětlovacích soustav vnitřního osvětlení, Publikace ČEA, Ostrava 2004.
- [3.4] *Sokanský, K a kolektiv.:* Úspory el. Energie na veřejném osvětlení, Česká společnost pro osvětlování, Ostrava 2002.
- [3.5] *Sokanský, K.:* Elektrické světlo a teplo, Skripta VŠB-TU Ostrava 1990.

4. UMĚLÉ OSVĚTLENÍ V BUDOVÁCH

4.1. Úvod

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, oddechových, například v restauracích, kulturních domech, bytech apod.

4.2. Základní pojmy

Vybraná terminologie vychází: z normy ČSN EN 12464-1 a normy ČSN EN 12665.

Srovnávací rovina je rovina, na které se měří nebo určují parametry osvětlení.

Zrakový výkon je množství informací zpracovaných zrakem za jednotku času.

Zraková pohoda je příjemný psychofyziologický stav, při němž celý zrakový systém optimálně plní své funkce a při kterém má člověk i po delším pobytu nejen pocit, že dobře vidí, ale cítí se také psychicky dobře a prostředí, v němž se nachází, je mu vzhledově příjemné.

Směrovost je vlastnost osvětlení, která charakterizuje převažující směr světla v daném místě.

Stínivost je schopnost osvětlení vytvářet na trojrozměrných předmětech stíny.

Osvětlovací soustava je funkčně ucelený soubor osvětlovacích prostředků, tj. světelných zdrojů, svítidel a jejich příslušenství, včetně napájení a ovládání.

Druhy normálního hlavního osvětlení, tj. osvětlení pro činnost v bezporuchovém stavu napájecí soustavy a výrobní technologie:

- a) **Celkové osvětlení** - osvětlení, které zajišťuje rovnoměrné osvětlení celé místnosti
- b) **Odstupňované osvětlení** - osvětlení, které zajišťuje rovnoměrné osvětlení v jednotlivých částech místnosti podle vykonávané zrakové činnosti
- c) **Místní osvětlení** - osvětlení, které zajišťuje přídavné osvětlení místa úkolu

Poruchového osvětlení, tj. osvětlení při poruše dodávky elektrické energie z rozvodné soustavy napájející normální osvětlení je **Nouzové, únikové osvětlení**. Jedná se o osvětlení

únikových cest a důležitých manipulačních míst při přerušení dodávky elektrické energie z rozvodné soustavy

Index podání barev je veličina, jejíž hodnota vyjadřuje stupeň shodnosti barvy (vjemu barvy) předmětů osvětlených uvažovaným světlem a barvy týchž předmětů osvětlených referenčním světlem.

Všeobecný index podání barev (R_a) je střední hodnota z osmi zvláštních indexů podání barev CIE 1974, stanovených pomocí osmi zkušebních barevných vzorků.

Zrakový úkol - vizuální prvky vykonávané práce

Místo zrakového úkolu je dílčí místo na pracovišti, na němž se nachází zrakový úkol; pro prostory, u nichž velikost anebo poloha místa zrakového úkolu nejsou známy, je nutno za místo zrakového úkolu považovat prostor, v němž se úkol může objevit

Bezprostřední okolí úkolu je pás o šířce aspoň 0,5 m okolo místa zrakového úkolu uvnitř zorného pole

Udržovaná osvětlenost (E_m) je hodnota průměrné intenzity osvětlení na daném povrchu, pod kterou nesmí osvětlenost poklesnout

Úhel clonění je úhel mezi vodorovnou rovinou a směrem pohledu na svítidlo, při němž právě začíná být přímo viditelná svítící část světelného zdroje ve svítidle

Rovnoměrnost osvětlení je poměr minimální a průměrné osvětlenosti na jednom povrchu

4.3. Kritéria pro navrhování osvětlení

4.3.1. Světelné prostředí

Základem dobré osvětlovací praxe je splnit, kromě požadované osvětlenosti, další kvalitativní a kvantitativní požadavky.

Požadavky na osvětlení jsou určeny uspokojením tří základních lidských potřeb:

- zrakové pohody, když se pracovníci velmi dobře cítí; což nepřímo přispívá k vysoké úrovni produktivity,
- zrakového výkonu, když jsou pracovníci schopni vykonávat zrakové úkoly i při špatných podmínkách a během dlouhé doby,
- bezpečnosti.

Hlavní parametry určující světelné prostředí:

- rozložení jasu,
- osvětlenost,
- oslnění,
- směrovost světla,
- podání barev a barevný tón světla,
- míhání světla,
- denní světlo.

4.3.2. 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)
- 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 zvětšit oslnění,
- příliš velké kontrasty jasů, jež mohou způsobit únavu v důsledku nepřetržité readaptace,
- příliš malé jasy a kontrasty jasů, jež vedou k monotónnímu nestimulujícímu pracovnímu prostředí.

Účelný rozsah činitelů odrazů hlavních povrchů místnosti:

- | | |
|-------------------|------------|
| – strop | 0,6 až 0,9 |
| – stěny | 0,3 až 0,8 |
| – pracovní roviny | 0,2 až 0,6 |
| – podlaha | 0,1 až 0,5 |

4.3.3. Osvětlenost

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.

Všechny hodnoty osvětleností uvedené v této normě jsou udržované osvětlenosti a zajišťují potřebnou zrakovou pohodu a zrakový výkon.

Doporučené osvětlenosti v místě zrakového úkolu

Hodnoty uvedené v kap. 4.4 jsou udržované osvětlenosti v místech zrakového úkolu na srovnávací rovině, jež může být vodorovná svislá nebo nakloněná. Průměrná osvětlenost v každém místě zrakového úkolu se nesmí zmenšit pod hodnotu uvedenou v kap. 4.4, bez ohledu na stáří a stav osvětlovací soustavy. Tyto hodnoty platí pro normální zrak a při zahrnutí těchto činitelů:

- psychofysiologických hledisek jako zrakové pohody a celkové pohody,
- požadavků na zrakové úkoly,
- zrakové ergonomie,
- praktických zkušeností,
- bezpečnosti,
- hospodárnosti.

Hodnota osvětlenosti může být upřesněna nejméně o jeden stupeň řady osvětleností (viz níže), 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 obličeje, 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:

- zraková činnost je kritická,
- se chyby 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,

Požadované udržované osvětlenosti je možné zmenšit, když:

- kritické detaily úkolu jsou neobvykle velké nebo mají velký kontrast,
- úkol je vykonáván po neobvykle krátkou dobu.

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

4.3.4. Osvětlenosti bezprostředního okolí úkolu

Osvětlenost bezprostředního okolí úkolu musí souviset s osvětlením úkolu a musí poskytovat vyvážené rozložení jasů v zorném poli.

Velké prostorové změny osvětleností 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. 4.1*.

Tab. 4.1 – Rovnoměrnost osvětlení a poměr osvětleností bezprostředního okolí a úkolu

Osvětlenost úkolu (lx)	Osvětlenost bezprostředního okolí úkolu (lx)
≥ 750	500
500	300
300	200
≤ 200	$E_{\text{úkolu}}$
rovnoměrnost osvětlení: $\geq 0,7$	rovnoměrnost osvětlení: $\geq 0,5$

4.3.5. Rovnoměrnost osvětlení

Osvětlení místa zrakového úkolu musí být co nejrovnoměrnější. Rovnoměrnost osvětlení místa úkolu a bezprostředního okolí úkolu nesmí být menší než hodnoty uvedené v *Tab. 4.1*.

4.3.6. Oslnění

Oslnění je počitek způsobený povrchy v zorném poli s velkým jasnem a může být pocíťováno buď jako rušivé nebo omezující oslnění. Oslnění způsobené odrazy v zrcadlových površích je běžně chápáno jako závojové oslnění nebo oslnění odrazem.

Omezení oslnění je důležité pro vyvarování se chybám, únavě a úrazům.

Ve vnitřních pracovních prostorech může být oslnění způsobeno přímo svítidly a okny s velkým jasnem.

Rušivé oslnění

Činitel oslnění přímo od svítidel osvětlovací soustavy vnitřního prostoru musí být stanoven jednotným systémem hodnocení oslnění tabulkovou metodou CIE (UGR) podle vztahu

$$UGR = 8 \log_{10} \left(\frac{0,25}{L_b} \sum \frac{L^2 \omega}{p^2} \right), \quad (4.1)$$

kde

- L_b je jas pozadí v $\text{cd} \cdot \text{m}^{-2}$ vypočtený jako $\pi \cdot E_{\text{ind}}$ a E_{ind} je svislá nepřímá osvětlenost očí pozorovatele
- L jas svítící části každého svítidla ve směru očí pozorovatele v $\text{cd} \cdot \text{m}^{-2}$
- ω prostorový úhel (ve steradiánech) svítící části každého svítidla vzhledem k očím pozorovatele
- p činitel polohy podle Gutha pro každé svítidlo podle jeho odchýlení od směru pohledu

Všechny uvažované předpoklady při stanování UGR musí být uvedeny ve výkresové dokumentaci. Hodnota UGR osvětlovací soustavy nesmí přesáhnout hodnoty uvedené v kap. 4.4.

Clonění proti oslnění

Zdroje světla s velkým jasnem mohou oslňovat a zhoršovat viditelnost předmětů. Tomu se musí zabránit například vhodným cloněním světelných zdrojů nebo zastíněním oken žaluziemi.

Minimální úhly clonění v Tab. 4.2 musí být pro uvedené jasy zdrojů zajištěny.

Tab. 4.2 – Minimální úhly clonění svítidel pro specifikované jasy zdrojů

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

Závojoyé oslnění (odrazy) a oslnění odrazem

Odrazy světla v místě zrakového úkolu mohou měnit viditelnost úkolu, zpravidla ji zhoršovat. Závojoyé oslnění a oslnění odrazem může být zamezeno nebo zmenšeno těmito způsoby:

- uspořádáním svítidel a pracovních míst,
- povrchovou úpravou (matné povrchy),
- omezením jasu svítidel,
- zvětšením svítící plochy svítidla,
- světlým stropem a světlými stěnami.

4.3.7. Směřované osvětlení

Směřované osvětlení může být použito pro zvýraznění předmětů, vyjevení textury a vzhledu osob v prostoru. To je možné popsat termínem „modelace“. Směřované osvětlení zrakového úkolu může také ovlivnit jeho viditelnost.

4.3.8. Modelace

Modelace je vyváženost mezi difusním 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 neboli modelace se nesmí zcela ztratit, což by vedlo k velmi monotónnímu světelnému prostředí.

4.3.9. Směřované osvětlení zrakových úkolů

Osvětlení z určitého směru může vyjevit detaily zrakového úkolu, zlepšit jejich viditelnost a usnadnit vykonávání zrakového úkolu.

Závojoyé oslnění (odrazy) a oslnění odrazem musí být zamezeno.

4.3.10. Hlediska barev

Jakost barvy světelných zdrojů smluvně bílého (near white) 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.

4.3.11. Barevný vzhled (tón) světla

Barevný vzhled (tón) světelného zdroje se vztahuje k zdánlivé barvě (chromatičnosti) vyzařovaného světla. Ta se kvantifikuje náhradní teplotou chromatičnosti (Tcp).

Barevný tón může být popsán také podle *Tab. 4.3*.

Tab. 4.3 – Skupiny barevného tónu světla světelných zdrojů

Barevný vzhled (tón) světla	Náhradní teplota chromatičnosti T_{cp} (K)
teple bílý	do 3 300
bílý	3 300 až 5 300
denní	nad 5 300

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.

4.3.12. 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 (viz také ISO 3864)

Pro objektivní charakteristiku vlastností světelných zdrojů z hlediska podání barev byl zaveden index podání barev R_a .

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 a/nebo 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 neb činností jsou uvedeny v Kap. 4.4.

4.3.13. Míhání a stroboskopické jevy

Míhání působí rušivě a může vyvolat fyziologické projevy jako bolesti hlavy.

Stroboskopické jevy mohou vést k nebezpečným situacím při změně vnímaného pohybu strojů točivých nebo strojů s vratným pohybem.

Osvětlovací soustavy musí být navrženy tak, aby nevznikaly míhání ani stroboskopické jevy.

4.3.14. 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.

Návrhář (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.

4.3.15. Energetická hlediska

Osvětlovací soustava musí vyhovovat požadavkům na osvětlení daného prostoru bez plýtvání energií. Přesto je důležité nedělat kompromisy z hlediska vizuálního a jednoduše nezménšovat spotřebu energie.

To vyžaduje zvolit vhodnou osvětlovací soustavu, zařízení, řízení a využití dostupného denního světla.

4.3.16. Denní světlo

Denní světlo může poskytnout úplné nebo částečné osvětlení pro zrakový úkol. Jeho úroveň a spektrální složení se s časem mění, a tím se mění i vnitřní prostor. Denní světlo vytváří zvláštní modelaci a rozložení jasů v důsledku téměř vodorovného směru jeho toku od bočních oken.

Okna mohou poskytovat vizuální kontakt s okolním světem, jemuž většina lidí dává přednost.

V místnostech s bočními okny se poskytované světlo prudce zmenšuje se vzdáleností od oken. K zajištění požadovaného osvětlení na pracovních místech a k vyrovnání rozložení jasů v místnosti je nutné sdružené osvětlení. K zajištění vhodného spojení (spolupůsobení) umělého a denního osvětlení může být použito manuální nebo automatické spínání anebo stmívání.

K omezení oslnění okny musí být použito stínění tam, kde je to možné.

4.4. Přehled požadavků na osvětlení v kancelářích a vzdělávacích zařízeních (citováno z normy ČSN EN 12464-1)

Tab 5.3 – Kanceláře (administrativní prostory)

Položka č.	Druh prostoru, úkolu nebo činnosti	$\bar{E}_m$ (lx)	UGR_L –	R_a –	Poznámky
3.1	zakládání dokumentů, kopírování atd.	300	19	80	
3.2	psaní, psaní na stroji, čtení, zpracování dat	500	19	80	práce s displeji viz 4.11
3.3	technické kreslení	750	16	80	

3.4	pracovní stanice CAD	500	19	80	práce s displeji viz 4.11
3.5	konferenční a zasedací místnosti	500	19	80	osvětlení má být regulovatelné
3.6	recepce	300	22	80	
3.7	archivy	200	25	80	

Tab. 5. 6 – Vzdělávací (Školská a výchovná) zařízení

6.1 Mateřské školy, jesle

Položka č.	Druh prostoru, úkolu nebo činnosti	$\bar{E}_m$ (lx)	UGRL	Ra	Poznámky
			–	–	
6.1.1	hrací místnost, herna	300	19	80	dtto
6.1.2	dětský pokoj	300	19	80	
6.1.3	ruční práce	300	19	80	
6.2 Vzdělávací (Výchovné) budovy (stavby)					
6.2.1	učebny, konzultační místnosti	300	19	80	osvětlení má být regulovatelné
6.2.2	učebny pro večerní studium a vzdělávání dospělých	500	19	80	osvětlení má být regulovatelné
6.2.3	přednáškové haly	500	19	80	osvětlení má být regulovatelné
6.2.4	tabule	500	19	80	zamezit zrcadlové odrazy
6.2.5	demonstrační stůl	500	19	80	v přednáškových sálech 750 lx
6.2.6	místnosti pro výtvarnou výchovu (art rooms)	500	19	80	
6.2.7	místnosti pro výtvarnou výchovu v uměleckých školách	750	19	80	$T_{cp} \geq 5\,000\text{ K}$
6.2.8	kreslírny (technické kreslení)	750	16	80	
6.2.9	místnosti pro praktickou výuku a laboratoře	500	19	80	

Položka č.	Druh prostoru, úkolu nebo činnosti	$\bar{E}_m$ (lx)	UGRL –	Ra –	Poznámky
6.2.10	místnosti pro ruční práce	500	19	80	
6.2.11	učební dílny (teaching workshop)	500	19	80	
6.2.12	místnosti pro hudební cvičení	300	19	80	
6.2.13	cvičebny práce na počítačích (počítačové učebny)	300	19	80	
6.2.14	jazykové laboratoře	300	19	80	
6.2.15	přípravny a dílny	500	19	80	
6.2.16	vstupní haly	200	22	80	
6.2.17	(cirkulační) spojovací (průchozí) dopravní prostory a chodby	100	25	80	
6.2.18	schodiště	150	25	80	
6.2.19	společenské místnosti a shromažďovací haly pro studenty a žáky	200	22	80	
6.2.20	místnosti vyučujících	300	19	80	
6.2.21	knihovny: police	200	19	80	
6.2.22	knihovny: místa pro čtení	500	19	80	
6.2.23	sklady učebních materiálů	100	25	80	
6.2.24	sportovní haly, gymnastika, bazény (pro obecné běžné použití)	300	22	80	pro specializované činnosti musí být použity požadavky EN 12193
6.2.25	školní jídelny	200	22	80	
6.2.26	kuchyně	500	22	80	

Literatura:

- [4.1] Plch, J.: Světelná technika v praxi, Praha, 1999.
 [4.2] Habel, J.: Světelná technika a osvětlování, FCC Public, 1995.

- [4.3] *Sokanský, K.*: Inteligentní řízení osvětlovacích soustav vnitřního osvětlení, Publikace ČEA, Ostrava 2004.
- [4.4] *Sokanský, K a kolektiv.*: Úspory el. Energie na veřejném osvětlení, Česká společnost pro osvětlování, Ostrava 2002.
- [4.5] *Sokanský, K.*: Elektrické světlo a teplo, Skripta VŠB-TU Ostrava 1990.

5. SDRUŽENÉ OSVĚTLENÍ BUDOV

5.1. Úvod

Potřeba sdruženého osvětlení jako přísvětlování umělým světlem během dne vznikala přirozeným vývojem tam, kde v celém vnitřním prostoru nebo v jeho části nebyla úroveň denního osvětlení z různých důvodů dostatečná.

Sdružené osvětlení se používá stále častěji. Vedou k tomu zejména tyto důvody:

- využívání hustě zastavěných území s vysokým stupněm venkovního stínění, které znesnadňuje docílení vyhovujícího denního osvětlení ve vnitřních prostorech budov;
- snaha po maximálním využití stavebních pozemků, vedoucí k hlubokým traktům budov, omezujícím přístup denního světla;
- rekonstrukce a modernizace starších budov, ve kterých je obtížné dosáhnout vyhovujících denního osvětlení.

Vytvořit podmínky zrakové pohody ve vnitřních prostorech se sdruženým osvětlením je velmi náročným úkolem, neboť spolu působí dvě složky s velmi odlišným charakterem: denní složka, která je neustále proměnlivá co do intenzity i spektrálního složení světla, a složka doplňujícího umělého osvětlení, která je relativně stálá a má odlišné spektrální složení.

5.2. Základní pojmy

Sdružené osvětlení je záměrné současné osvětlení denním a doplňujícím umělým světlem.

Celkové sdružené osvětlení je současné osvětlení denním osvětlením a doplňujícím celkovým nebo odstupňovaným osvětlením.

Místní sdružené osvětlení je současné osvětlení denním osvětlením a doplňujícím místním umělým osvětlením na zastíněném místě vnitřního prostoru.

Siluetový efekt je jev vznikající při pozorování předmětu proti pozadí s velkým jasnem, při kterém zrak při malém jasů předmětu vnímá jen jeho siluetu (obrys).

Činitel denní osvětlenosti je podíl osvětlenosti dané roviny přímým i odraženým oblohovým světlem v dané době a současné srovnávací osvětlenosti venkovní nezastíněné vodorovné roviny za předpokládaného nebo známého rozložení jasů oblohy. Přímé sluneční světlo je z obou osvětlenosti vyloučeno. Hodnota činitele denní osvětlenosti se udává v procentech.

Trvalý pobyt je pobyt lidí ve vnitřním prostoru nebo v jeho funkčně vymezené části, který trvá v průběhu jednoho dne (za denního světla) déle než 4 hodiny a opakuje se při trvalém užívání budovy více než jednou týdně.

Poměrná pozorovací vzdálenost je podíl vzdálenosti kritického detailu od oka pozorovatele a rozměru kritického detailu.

5.3. Kritéria pro návrh a posuzování

Základním problémem při stanovení kritérií pro posuzování sdruženého osvětlení a jeho kvantifikaci je rozdílný charakter obou jeho složek, denního a doplňujícího umělého osvětlení. Potřebná úroveň denního osvětlení se vzhledem k jeho neustálé proměnlivosti stanoví v relativních hodnotách činitele denní osvětlenosti v procentech, kdežto u umělého osvětlení se vyjadřuje jeho množství absolutní osvětleností v luxech.

Hodnoty osvětlenosti sdruženým osvětlením jsou proto stanoveny jako součet denní složky za určitého definovaného stavu oblohy a složky doplňujícího umělého osvětlení a vyjadřují se obě v luxech. Přitom je pro zrakový vjem člověka význam této součtové hodnoty vyšší, než odpovídá stejné hodnotě při osvětlení pouze umělem.

Pro návrh a posuzování úrovně a rovnoměrnosti sdruženého osvětlení byly stanoveny dva charakteristické stavy oblohy:

- a) **rovnoměrně zatažená obloha s venkovní srovnávací osvětleností 5 000 lx**, která odpovídá podmínkám v zimním období s malým množstvím denního světla a je důležitá pro stanovení minimální úrovně sdruženého osvětlení, potřebné pro dané zrakové činnosti;
- b) **rovnoměrně zatažená obloha s venkovní srovnávací osvětleností 20 000 lx**, která odpovídá průměrné úrovni venkovní osvětlenosti v letním období, a je důležitá pro stanovení potřebné rovnoměrnosti sdruženého osvětlení.

Oba tyto stavy oblohy předpokládají rozložení jasu rovnoměrně zatažené oblohy stejné jako při návrhu denního osvětlení.

V rozsáhlejších vnitřních prostorech mohou být z hlediska druhu osvětlení za určitých podmínek rozlišena pásma:

- a) **s vyhovujícím denním osvětlením**, kde není během dne nutné přisvětlovat umělým světlem;
- b) **se sdruženým osvětlením**, v nichž je úroveň denního osvětlení nižší, než požaduje norma pro denní osvětlení, ale vyhovuje požadavkům pro denní složku sdruženého osvětlení;
- c) **s pouze umělým osvětlením**, kde je úroveň denního osvětlení nedostatečná i pro sdružené osvětlení a její příznivý vliv na člověka se neuplatňuje; umělé osvětlení se navrhuje jako v prostorech bez denního osvětlení.

Taková pásma vznikají zejména v půdorysně rozsáhlých vnitřních prostorech s bočním denním osvětlením. Často je tomu tak například v obchodních domech a v některých druzích průmyslových nebo kancelářských budov.

5.3.1. Denní složka sdruženého osvětlení

Při trvalém pobytu lidí ve vnitřním prostoru se sdruženým osvětlením nebo v jeho funkčně vymezené části musí být zachován dostatečný podíl denní složky, podmiňující její příznivý účinek.

Potřebné minimální a průměrné hodnoty činitele denní osvětlenosti pro různě zrakově obtížné činnosti podle normy ČSN 36 0020-1 jsou uvedeny v Tab. 5.1

Tab. 5.1 Hodnoty činitele denní osvětlenosti denní složky

Třída zrakové činnosti	Poměrná pozorovací vzdálenost	Hodnota činitele denní osvětlenosti	
		minimální (%)	průměrná (%)
I, II	1670 a větší	1,0	2,5
III	1000 až 1670	0,7	2,0
IV	500 až 1000	0,5	1,5
V až VII	menší než 500	0,5	1,0

Minimální hodnoty musí být splněny ve všech kontrolních bodech vnitřního prostoru nebo jeho funkčně vymezené části. Průměrné hodnoty musí být splněny pouze u vnitřních prostorů

- s horním denním osvětlením,
- s kombinovaným denním osvětlením, kde je podíl horního osvětlení na průměrné hodnotě D_m činitele denní osvětlenosti roven nejméně jedné polovině.

Průměrná hodnota 1 % musí být splněna při trvalém pobytu lidí ve všech případech, tedy i při bočním nebo kombinovaném denním osvětlení.

Zrakové činnosti se zařazují do tříd (Tab. 5.1) podle jejich obtížnosti, stanovené jejich charakteristikou (např. velmi přesná, přesná, hrubší atd.) a zejména poměrnou pozorovací vzdáleností (viz ČSN 73 0580-1).

5.3.2. Doplnující umělé osvětlení

Úroveň doplňujícího umělého osvětlení se stanoví pomocí místně průměrných a časově minimálních hodnot osvětlenosti pro celý vnitřní prostor nebo pro jeho funkčně vymezenou část tak, aby byly splněny všechny požadavky uvedené v **základních požadavcích v 5.5.1.** Pokud z jednotlivých požadavků vyplývá potřeba různé úrovně doplňujícího umělého osvětlení, zvolí se vždy ta nejvyšší.

Nejnižší přípustné hodnoty osvětlenosti doplňujícím umělým světlem při trvalém pobytu lidí ve vnitřním prostoru nebo v jeho funkčně vymezené části jsou uvedeny v Tab. 5.2 (podle ČSN 36 0020-1); jsou to hodnoty místně průměrné a časově minimální.

Tab. 5.2 Osvětlenost doplňujícím umělým světlem (lx)

Kategorie osvětlení	Kontrast		
	malý	střední	velký
A1	2000	1500	1000
A2, A3	750	750	750
B1	750	500	500
B2	500	400	400
B3	400	400	300
C, D	200	200	200

Světelné zdroje pro doplňující umělé osvětlení se volí podle charakteru zrakových činností ve vnitřním prostoru a s ohledem na součinnost s denním osvětlením.

Barevný tón světla a podání barev musí být obdobně jako při samostatném umělém osvětlení v souladu s požadavky daných zrakových činností.

Při nedokonalém promísení doplňujícího umělého světla s denním, například při odlišném směru obou složek, jak tomu je při bočních osvětlovacích otvorech s převažujícím denním osvětlením' ze strany od osvětlovacích otvorů a při svítidlech umístěných na stropě s převažujícím směrem doplňujícího umělého osvětlení shora, musí být spektrální složení světelných zdrojů co nejblíží dennímu světlu, aby nevznikaly dvojí barevné stíny. Spektrum těchto světelných zdrojů má být spojitě, nebo mít výraznou spojitou složku. Teplota chromatičnosti těchto zdrojů má být v oblasti průměrných hodnot pro denní světlo, nejlépe v rozmezí 4 000 až 5 000 K.

Při dobrém promísení denního a doplňujícího umělého světla, jak tomu je u některých soustav s horními osvětlovacími otvory, je možné docílit dobrých výsledků i při větších rozdílech ve spektrálním složení světla obou složek. I v těchto případech však je nutné dodržet obecné požadavky na teplotu chromatičnosti a na hodnotu indexu podání barev, platné pro pouze umělé osvětlení při daných zrakových činnostech.

Hodnota všeobecného indexu podání barev má být v prostorech s trvalým pobytem lidí nejméně 60; doporučuje se alespoň 80, pokud zrakové činnosti nevyžadují hodnotu vyšší.

V běžných vnitřních prostorech se jako světelné zdroje pro doplňující umělé osvětlení osvědčily nejlépe zářivky s teplotou chromatičnosti mezi 4 000 K až 5 000 K a indexem podání barev nejméně 80.

Pro celkové osvětlení jsou zpravidla nejvhodnější lineární zářivky; v menších vnitřních prostorech a při místním osvětlení se mohou dobře uplatnit kompaktní zářivky.

V rozsáhlých vnitřních prostorech halového charakteru s velkou světlou výškou se mohou dobře využít vysokotlaké rtuťové výbojky s luminoforem nebo halogenidové výbojky. Jejich výhodou je možnost velkého příkonu a tím i podstatné omezení počtu svítidel. Nevýhodou těchto výbojek je skutečnost, že i po krátkodobém přerušení proudu zhasínají a při běžné instalaci dojde k jejich novému zapálení až po několika minutách, kdy se dostatečně ochladí.

Z hlediska hospodárnosti a energetické úspornosti se používají pro doplňující umělé osvětlení výkonné výbojové zdroje s velkým měrným výkonem. Pouze ve zvlášť odůvodněných případech se může pro doplňující umělé osvětlení použít žárovek, zejména pro místní osvětlení (například vyžadují-li to podmínky prostředí, technologický proces při výrobě, požadavky na usměrnění světla, krátká doba zapínání, požadavky na malé rozměry nebo malou hmotnost, případně zvláštní funkční nebo estetické důvody).

Svítidla pro doplňující umělé osvětlení se volí obdobně jako při samostatném umělém osvětlení s ohledem na požadované rozložení světelného toku a na omezení jasu svítidel. Velmi vhodně je možné často, zejména při bočním denním osvětlení, použít svítidel s asymetrickým rozdělením světelného toku pro docílení žádoucího rozložení sruženého osvětlení.

Musí se rovněž dbát na to, aby byly přiměřeně potřebě osvětleny nejen vodorovné plochy, ale také svislé nebo šikmé plochy, pokud jsou pro zrakové úkoly a zrakovou pohodu důležité, například pro zábranu siluetového efektu.

Soustavy doplňujícího umělého osvětlení se volí podle rozložení denního světla a podle rozmístění a charakteru zrakových činností ve vnitřním prostoru. Dbá se na to, aby bylo sdružené osvětlení pokud možno rovnoměrné, zejména aby neklesala jeho úroveň v blízkosti stěn vnitřního prostoru při příliš velké vzdálenosti krajních svítidel od stěn.

U vnitřních prostorů s jednostrannými bočními osvětlovacími otvory je zpravidla nejúčelnější uspořádání svítidel do pásů rovnoběžných s okenní stěnou, které umožňuje hospodárnou regulaci doplňujícího umělého osvětlení podle měnící se úrovně denní složky.

Důležitá je účelná volba osvětlovací soustavy pro doplňující umělé osvětlení ve vztahu k soustavě pro pouze umělé osvětlení v době bez denního světla. Jak je zřejmé z *Tab.5.2.*, jsou v některých případech hodnoty osvětlenosti požadované pro doplňující umělé osvětlení vyšší, než hodnoty stanovené pro stejné zrakové činnosti při pouze umělém osvětlení. Zpravidla se některá svítidla využívají při obou druzích osvětlení, některá jen při jednom. Tak například v prostorech s bočním osvětlovacími otvory se mohou svítidla uspořádat do několika pásů rovnoběžných s okenní stěnou, a některé pásy slouží při doplňujícím umělém osvětlení (pás v zadní části místnosti a pás uprostřed), kdežto při pouze umělém osvětlení v době bez denního světla mohou pro nižší požadovanou osvětlenost stačit krajní pásy (v blízkosti oken a v zadní části místnosti).

5.3.3. Regulace sdruženého osvětlení

Obě složky sdruženého osvětlení se regulují podle podmínek venkovního osvětlení tak, aby byly během celého roku zachovány podmínky zrakové pohody ve vnitřním prostoru a aby bylo osvětlení co nejhospodárnější, to jest aby se co nejlépe využilo denního světla a doplňující umělé osvětlení se omezilo na nezbytnou míru.

Doplňující umělé osvětlení se v menších vnitřních prostorech ovládá většinou ručně na základě subjektivního odhadu uživatelů prostoru.

Ve vnitřních prostorech s větším počtem uživatelů a v rozsáhlejších stavbách se doporučuje ovládání doplňujícího umělého osvětlení na základě sledování stavu denního osvětlení pomocí čidel; tím se zabezpečí jak potřebná kvalita i úroveň sdruženého osvětlení, tak i jeho hospodárnost a energetická úspornost.

Regulace doplňujícího umělého osvětlení může přitom být automatická pomocí přístrojů, která je ovšem investičně náročnější, nebo ruční na základě signalizace z čidel.

Podle technického řešení může být regulace stupňovitá s postupným spínáním a vypínáním jednotlivých svítidel nebo celých skupin svítidel, nebo plynulá, která je ovšem technicky i investičně náročnější. V každém případě má být zachována možnost ruční regulace pro zvláštní případy využití vnitřního prostoru.

Při stupňovité automatické regulaci se nastavuje ovládání tak, aby se zabránilo příliš častému spínání jednotlivých stupňů při rychlých krátkodobých změnách stavu oblohy za oblačného počasí. Za přijatelný nejmenší časový odstup stupňovitých změn se považuje doba 5 minut.

Změna úrovně osvětlenosti sdruženým světlem nemá být při přechodu mezi sousedními stupni regulace větší než 2 : 1, případně menší než 1 : 2, aby adaptace na tyto změny příliš nezatěžovala uživatele vnitřního prostoru a nezhoršovala zrakovou pohodu.

Podle zahraničních průzkumů a zkušeností, zachovávají-li se podmínky zrakové pohody, dosahují úspory elektrické energie při objektivním sledování stavu denního osvětlení a stupňovité regulaci hodnot v průměru 10 až 20 % a při plynulé regulaci jsou ještě vyšší.

Čidla ke sledování úrovně denního osvětlení se umístí tak, aby kontrolovala tu část oblohy, která nejvíce ovlivňuje daný vnitřní prostor. Přitom se musí dbát na to, aby čidla nebyla ovlivněna rušivými vlivy, zejména vlastním doplňujícím umělým osvětlením, ale také venkovním umělým osvětlením nebo přímým slunečním světlem.

Čidla musí být chráněna proti vlivům vnějšího prostředí a pravidelně čištěna a udržována. Spínače pro ovládání doplňujícího umělého osvětlení mají být zřetelně odlišeny od spínačů pouze umělého osvětlení, používaného v době bez denního světla, aby nedocházelo k záměně a nesprávnému použití.

Denní složka sdruženého osvětlení se podle potřeby reguluje jak co do její úrovně (omezení nadměrných rozdílů v osvětlenosti jednotlivých částí vnitřního prostoru), tak pro omezení rušivých vlivů. Těmi mohou být nejčastěji pronikání přímého slunečního světla na taková místa vnitřního prostoru, kde může způsobit narušení zrakové pohody a oslňovat, a příliš vysoké jasy osvětlovacích otvorů. Pro regulaci denní složky se využívá známých prostředků, nejčastěji clon, závěsů, žaluzií, rolet, rozptylných nebo světlo usměrňujících materiálů, případně i fotosenzitivních materiálů pro zasklení osvětlovacích otvorů, které při ozáření sluncem tmavnou a tak omezují prostup světla.

Velmi důležitou podmínkou správného využívání sdruženého osvětlení jak z hlediska zachování podmínek zrakové pohody, tak z hlediska hospodárnosti osvětlení je dobrá informovanost provozovatele budovy i uživatelů vnitřních prostorů o podstatě sdruženého osvětlení i o zásadách ovládání obou jeho složek v souladu se stavem využití jednotlivých prostorů a jejich částí. Bez této informovanosti mohou vznikat jak vážné nedostatky v kvalitě a kvantitě osvětlení, tak i v hospodárnosti osvětlení a spotřebě elektrické energie.

Literatura:

- [5.1] *Plch, J.:* Světelná technika v praxi, Praha, 1999.
- [5.2] *Habel, J.:* Světelná technika a osvětlování, FCC Public, 1995.
- [5.3] *Sokanský, K.:* Inteligentní řízení osvětlovacích soustav vnitřního osvětlení, Publikace ČEA, Ostrava 2004.
- [5.4] *Sokanský, K a kolektiv.:* Úspory el. Energie na veřejném osvětlení, Česká společnost pro osvětlování, Ostrava 2002.
- [5.5] *Sokanský, K.:* Elektrické světlo a teplo, Skripta VŠB-TU Ostrava 1990.
- [5.6] ČSN 36 0020 Sdružené osvětlení budov, 1986.

6. PROSLUNĚNÍ STAVEB

6.1. Úvod

Přímé sluneční záření je jednou ze základních podmínek vzniku a udržování života na zemi. Dopadá na všechny nezastíněné venkovní povrchy, a při vhodném uspořádání osvětlovacích otvorů a orientaci ke světovým stranám může pronikat i do vnitřních prostorů budov.

Sluneční záření podporuje zdravý vývoj živých organismů, tedy i člověka, a zvyšuje jeho odolnost proti nepříznivým vlivům prostředí. Navíc působí příznivě na jeho psychiku, náladu i pohotovost k pracovním činnostem. Významné jsou také baktericidní účinky slunečního záření, které přispívají ke zdravému životnímu prostředí.

Z těchto důvodů je nezbytné věnovat při přípravě a řešení staveb odpovídající pozornost požadavkům na zabezpečení potřebného přímého slunečního záření v takových místech a vnitřních prostorech, kde je to důležité a jak to stanoví odpovídající normy a předpisy.

6.2. Požadavky na proslunění

Největší význam má proslunění bytů, pro ně jsou vypracovány nejpodrobnější požadavky na přesnou dobu proslunění. Tyto požadavky jsou obsaženy v ČSN 73 4301. Působení přímého slunečního záření se však požaduje i u dalších druhů staveb, zejména předškolních zařízení, škol, zdravotnických zařízení, ale také u venkovních rekreačních prostorů. U těchto druhů budov jsou požadavky obsaženy ve směrnících pro jednotlivé druhy budov.

Požadavky na proslunění nejsou zde vyjádřeny přesnou dobou proslunění k určitému datu, ale vymezením orientace osvětlovacích otvorů ke světovým stranám ve vazbě na nejmenší přípustné odstupy stínících překážek, což zároveň zabezpečuje dostatečnou dobu proslunění během roku. V zásadě se požaduje orientace osvětlovacích otvorů na slunečnou stranu pro okna vnitřních prostorů s déletrvajícím a opakovaným pobytem zejména tam, kde jsou hygienické účinky proslunění zvláště důležité.

Kromě toho se požaduje omezení nepříznivých účinků proslunění orientací na méně slunečnou stranu u těch vnitřních prostorů, kde by mohlo přímé sluneční záření škodit (narušovat zrakovou pohodu, působit nadměrnou tepelnou zátěž atd.).

6.2.1. Obytné budovy a byty

Všechny byty se navrhují tak, aby byly prosluněny. Byt se považuje za prosluněný, je-li součet ploch jeho prosluněných **obytných místností** roven nejméně jedné třetině součtu ploch všech jeho obytných místností. U samostatně stojících rodinných domků, dvoj domků a koncových řadových domků se doporučuje zvýšit tento podíl na jednu polovinu. Do ploch z jedné strany prosluněných obytných místností ani do ploch neprosluněných obytných místností se přitom nezapočítávají ty části jejich ploch, které leží za hranicí hloubky místnosti rovné 2,3násobku její světlé výšky.

Za **obytnou** se považuje místnost bytu, určená k trvalému bydlení (zpravidla obývací pokoj, ložnice nebo jídelna), která má vyhovující denní osvětlení, přímé větrání a dostatečné vytápění s možností regulace teploty. Podlahová plocha obytné místnosti musí být nejméně 8 m²; pokud tvoří byt jediná obytná místnost, musí být její plocha nejméně 16 m².

Obytná místnost se považuje za **prosluněnou**, jsou-li splněny tyto podmínky:

- půdorysný úhel slunečních paprsků s rovinou okenního otvoru musí být nejméně 25° ,
- přímé sluneční záření musí vnikat do místnosti okenním otvorem nebo otvory, jejichž celková plocha, vypočtená ze skladebných rozměrů, je rovna nejméně jedné desetíně plochy místnosti; nejmenší rozměr osvětlovacího otvoru musí být nejméně 0,9 m,
- sluneční záření musí dopadat na kritický bod v rovině vnitřního zasklení ve výšce 0,3 m nad středem spodní hrany osvětlovacího otvoru, ale nejméně 1,2 m nad úrovní podlahy posuzované místnosti,
- výška slunce nad horizontem musí být nejméně 5° ,
- doba proslunění (při zanedbání oblačnosti) musí být od 1. března do 14. října nejméně jeden a půl hodiny denně, u bytů se dvěma a více obytnými místnostmi se doporučuje alespoň u jedné obytné místnosti doba proslunění nejméně tři hodiny. Doba proslunění se zjišťuje pro dny 1. března a 21. června, ale je-li před nebo nad obytnou místností zčásti nebo zcela otevřený stínící prostor (balkon, lodžie atd.), stačí dodržet požadovanou dobu proslunění pouze 1. března.

Obdobné požadavky na proslunění jako u obytných místností bytů by měly být dodrženy také v obytných místnostech **zařízení pro dlouhodobé ubytování**, jako jsou domovy dětí a mládeže, koleje, svobodárny, ubytovny pro starší občany a pro zdravotně postižené občany.

6.2.2. Předškolní zařízení

V **jeslích** mají být okna místností, určených pro pobyt dětí, orientována směrem k jihu s přípustnou odchylkou $\pm 15^\circ$.

Nejmenší odstup stínících překážek od těchto oken se požaduje směrem na jih 1 : 2,5, směrem na východ 1:3.

V **mateřských školách** se u denních místností dětí požaduje orientace oken k jihu s možnou odchylkou do $\pm 15^\circ$. V nutných případech, odůvodněných celkovým řešením a umístěním objektu, je přípustná orientace až k východu nebo až k jihozápadu. Přitom nejméně příznivá je orientace k jihozápadu a je nevhodná pro lůžkové části u lehkých staveb s malou akumulací schopností.

Odstup stínících překážek se požaduje nejméně 1 : 2,5.

6.2.3. Školy

U **základních škol** jsou největší nároky na proslunění kmenových učeben, které mají nejdelší dobu pobytu. Nejlépe u nich vyhovuje orientace oken k jihu s možnou odchylkou do $\pm 15^\circ$, ale je přípustná orientace na všechny slunečné strany, tedy od východu přes jih až k západu.

Univerzální učebny a většina odborných pracoven mohou mít libovolnou orientaci, avšak podíl prostorů orientovaných na neslunečnou stranu má být pokud možno malý; jinak platí totéž jako u kmenových učeben.

Prostory studijního centra a vedení školy mohou být orientovány libovolně, s výjimkou přímého severu, s odchylkou do $\pm 15^\circ$.

U vybraných prostorů školy, které mají být chráněny před tepelnou zátěží nebo oslňováním, se požaduje orientace na nesečnou stranu (například kuchyně, chladné sklady, ale také počítačové pracovny a hlavní osvětlovací otvory tělocvičny). To platí pro všechny druhy škol.

Pozemek základní školy má být celodenně osluněný. Může mít spád ke slunečné straně nejvýše 10 %, výjimečně i spád k nesečné straně do 5 %.

U **gymnázií** se doporučuje orientovat univerzální učebny směrem k jihu; jinak mohou mít libovolnou orientaci, ale podíl učeben orientovaných na nesečnou stranu má být malý.

Laboratoře a učebny biologie musí být orientovány na slunečnou stranu.

Jídelny a klubovny mají být orientovány na slunečnou stranu, nejlépe k jihozápadu.

U počítačových pracoven má být orientace oken na nesečnou stranu. Místnosti vedení školy se orientují libovolně, s výjimkou přímého severu.

U **středních odborných škol a učilišť** se pro univerzální učebny a pro učebny a laboratoře biologie požaduje orientace v rozmezí od východu přes jih až k západu s tím, že jako nejvýhodnější je doporučena orientace k jihu.

U ostatních odborných učeben, laboratoří a dílen se požaduje orientace na nesečnou stranu.

U kluboven a studijního centra se doporučuje orientace na slunečnou stranu, nejlépe na jihozápad až západ. Jídelny a plovárny mají mít okna orientována na slunečnou stranu v rozmezí od jihovýchodu až k jihozápadu; nejvhodnější je orientace na jih až jihozápad.

Odstupy stínících objektů mají být u těchto vnitřních prostorů při jednostranném bočním osvětlení nejméně 1 : 2,5, při dvoustranném osvětlení nejméně 1:2.

6.3. Ochrana proti nežádoucím účinkům přímého slunečního záření

Přímé sluneční záření může mít i nepříznivé účinky, proti kterým se musí lidé i stavby a jejich vybavení chránit.

Jde zejména o následující účinky:

- **narušení zrakové pohody, zejména oslňování**, které vzniká buď nadměrným jasným osvětlením světlých ploch, kterému se oko pozorovatele není schopno přizpůsobit (například při osvětlení bílého papíru knihy či sešitu), nebo nadměrným kontrastem jasů v částečně osvětleném zorném poli, anebo přímým oslňováním jasným sluncem v zorném poli pozorovatele,
- **narušení tepelné pohody** nadměrnou tepelnou zátěží sálavým teplem slunce nebo nadměrným zvýšením teploty vnitřního vzduchu (skleníkový efekt),
- **negativní zdravotní účinky** nadměrných dávek přímého slunečního záření (záněty kůže, kancerogenní působení),
- **urychlená degradace** některých materiálů, které jsou buď součástí stavby a jejího vnitřního zařízení (například změny barev a pevnosti textilií, plastů, organických materiálů, povrchových úprav), nebo slouží ke specifickým účelům, zejména umělecké předměty (například obrazy, grafika, knihy, některé plastiky).

K ochraně proti nepříznivým účinkům přímého slunečního záření je možné využít mnoha různých způsobů, z nichž některé působí trvale, jiné umožňují regulaci podle potřeby.

Při jejich volbě je však nutno dbát na to, že taková zařízení zpravidla ovlivňují i jiné faktory, zejména denní osvětlení a jeho úroveň i tepelnou pohodu.

Vhodná orientace osvětlovacích otvorů je velmi účinným způsobem pro usměrnění množství a doby, po jakou proniká sluneční záření do vnitřního prostoru budovy; není však použitelná vždy a všude.

Podle účelu a charakteru využití vnitřního prostoru je možné buď proslunění prakticky vyloučit orientací otvorů k severu (s možnou malou odchylkou asi do 15°), nebo zvolit proslunění v dopolední době orientací k východu, či naopak v odpolední době orientací k západu.

Velmi důležitá je skutečnost, že svislé osvětlovací otvory orientované na jih propouštějí přímé sluneční záření v horkém letním období jen do malé hloubky prostoru (velká výška slunce uprostřed dne), kdežto v zimním období s menší intenzitou záření proniká do velké hloubky, což je zpravidla žádoucí. Naopak otvory orientované na východ a zejména na západ propouštějí přímé sluneční záření v letním období do značné hloubky a tím mohou mít větší nepříznivé účinky nadměrnou tepelnou zátěží.

Vodorovné osvětlovací otvory propouštějí přímé sluneční záření bez výraznějšího omezení (pouze clonění tloušťkou obruby nebo ostění otvoru). Šikmé otvory pak je třeba vždy posoudit jak podle jejich sklonu, tak podle orientace ke světovým stranám. Největší množství přímého slunečního záření proniká otvory šikmými s takovým sklonem, že paprsky prostupují pod co největším úhlem od jejich roviny, a dále při orientaci k jihu.

Zařízení pro regulaci vnikání přímého slunečního záření osvětlovacím otvorem je celá řada; z nich se vždy musí zvolit podle požadované funkce to nejvhodnější s tím, že nesmí nadměrně omezovat prostup denního světla do vnitřního prostoru v době, kdy je ho nedostatek.

Záclony a závěsy jsou nenáročné, umísťují se na vnitřní straně a musí být dobře ovladatelné, aby neomezovaly prostup denního světla při zatažené obloze.

Rolety a žaluzie mohou být umístěny na vnitřní straně (zachycené teplo však zůstává ve vnitřním prostoru), na vnější straně (zachycené teplo zůstává převážně venku, ale musí být odolné proti venkovním vlivům, znečištění a větru), nebo uvnitř konstrukce osvětlovacího otvoru (jsou náročnější na konstrukční řešení).

Sluneční clony jsou pevná nebo pohyblivá zařízení na průčelí budovy nebo součásti konstrukce budovy, která omezují po určitou dobu a v určitých úhlech pronikání slunečního záření do vnitřního prostoru. Zpravidla omezují i trvale denní osvětlení vnitřního prostoru a jsou vhodné jen výjimečně, v odůvodněných případech.

Pohltivé (absorpční) a odrazné (reflexní) materiály nebo jejich kombinace se mohou použít buď jako otvorové výplně ve formě absorpčních nebo reflexních skel, nebo jako fólie upevněné na čiré sklo. Výhodou reflexních materiálů je, že odrážejí většinu tepelného záření zpět do venkovního prostoru. Při více vrstvách zasklení se pohltivé materiály musí použít pro vnější vrstvu, aby se zachycené teplo co nejméně dostávalo do vnitřního prostoru.

Všechny tyto materiály podstatně omezují prostup denního světla v době jeho nižší úrovně; proto je třeba pečlivě volit nejvhodnější výrobek z bohaté stupnice dostupných materiálů, aby nebylo nutné volit ne hospodárně velké rozměry osvětlovacích otvorů.

Fotosenzitivní, fotochromické materiály jsou materiály pro otvorové výplně, které jsou při oblohovém záření a zatažené obloze čiré, ale při zasažením přímým slunečním zářením tmavnou, zbarvují se a stanou se pohltyvími. Tyto materiály mohou být buď homogenní, nebo v nich může fotosenzitivní materiál vytvářet lamely nebo mřížky, clonící pouze v určitých úhlech. Takové materiály jsou nákladné a používají se hlavně pro speciální případy.

Reflexní nátěry se mohou použít jako dočasné opatření, neboť mohou chránit proti přímému slunečnímu záření v horkém letním období a před zimním obdobím se mohou smýt.

Listnatá zeleň může do určité míry plnit funkci regulace přímého slunečního záření zejména u venkovních zařízení, neboť chrání v letním období, ale v zimním období po opadání listů umožňuje přístup slunečního záření. Je však nutné zvolit takové dřeviny a jejich rozmístění, aby rozsah stínění odpovídal potřebě.

Literatura:

- [6.1] *Plch, J.*: Světelná technika v praxi, Praha, 1999.
- [6.2] *Habel, J.*: Světelná technika a osvětlování, FCC Public, 1995.
- [6.3] *Sokanský, K.*: Inteligentní řízení osvětlovacích soustav vnitřního osvětlení, Publikace ČEA, Ostrava 2004.
- [6.4] *Sokanský, K a kolektiv.*: Úspory el. Energie na veřejném osvětlení, Česká společnost pro osvětlování, Ostrava 2002.
- [6.5] *Sokanský, K.*: Elektrické světlo a teplo, Skripta VŠB-TU Ostrava 1990.
- [6.6] ČSN 36 0020 Sdružené osvětlení budov, 1986.

7. PROVOZ A ÚDRŽBA OSVĚTLENÍ

7.1. Úvod

Provoz a údržba osvětlení jsou odborné kategorie činností v oblasti užití osvětlovacích zařízení. Základy pro jejich racionální provádění se kladou již ve fázi projektování osvětlení stavby a v řadě ohledů nemohou být v dalším životě zařízení změněny.

Provoz a údržba osvětlení mají největší vliv na to, jak budou během života osvětlovacích zařízení jejich vlastnosti zachovány a jak efektivně budou využity.

V tomto smyslu nebyl význam provozu a údržby osvětlení dosud dostatečně zhodnocen a lze si jen přát, aby následující řádky tomu částečně napomohly.

7.2. Provoz osvětlení

7.2.1. Základní pojmy

Provoz osvětlení, činnost souboru prvků osvětlovacích zařízení za účelem vytváření světelného prostředí v daném místě a čase podle stanovených funkčních požadavků a provozních režimů. Soubory prvků, seřazených do určitého funkčního systému, nazýváme osvětlovací soustavou.

Obsluha osvětlení, soubor činností spojených s uváděním osvětlovacích zařízení do provozu nebo vyřazováním z provozu, řízením provozu osvětlení a sledováním stavu osvětlovacích zařízení.

Osoba odpovědná za provozní způsobilost osvětlení, provozovatel nebo jím pověřená osoba, která zabezpečuje provozní podmínky v mezích stanovenými právními, hygienickými, technickými předpisy a schválenou dokumentací. Ověřuje provozní parametry osvětlení a zajišťuje provádění údržby. U velkých zařízení vede dokumentaci o provozním stavu osvětlení a činnostech zajišťujících jejich údržbu. Při změně účelu využití prostorů posuzuje vhodnost použití stávajícího osvětlení nebo zajišťuje jejich úpravu.

Může být také pověřena přejímáním dodávek a prací od dodavatelů, uváděním zařízení do provozu, úpravou provozních podmínek osvětlení a údržby osvětlení na základě získaných provozních zkušeností atd.

Řízení osvětlení, soubor pravidel, jimiž se ovlivňují provozní stavy osvětlení za účelem zajištění optimálních podmínek osvětlení při nezbytné spotřebě energie.

Základní rozdělení osvětlení podle provozních podmínek:

- podle zdroje energie:
 - denní osvětlení,
 - umělé osvětlení
 - sdružené osvětlení (denní a trvale doplňující umělé osvětlení)
- podle funkce (umělého) osvětlení:

- a) normální osvětlení, osvětlení pro činnost v bezporuchovém stavu napájecí soustavy,
 - a₁) hlavní osvětlení, osvětlení za obvyklých provozních podmínek,

a₂) pomocné osvětlení, osvětlení při provádění vedlejších zrakově méně náročných činností (v období mimo hlavní provoz - zásobování materiálem, odvoz hotových výrobků, provádění údržby čistoty aj.),

a₃) bezpečnostní osvětlení, osvětlení při změně provozních podmínek (např. při poruše technologického zařízení a narušení obvyklých podmínek prostředí),

b) poruchové osvětlení, osvětlení uváděné do činnosti při ztrátě dodávky energie ze základní napájecí soustavy (pro normální osvětlení),

b₁) náhradní osvětlení, osvětlení nezbytné pro pokračování nebo dokončení činnosti, aby ztrátou normálního osvětlení nemohlo dojít k úrazu nebo škodám na majetku,

b₂) nouzové - únikové - osvětlení, osvětlení únikových cest a důležitých manipulačních míst, např. pro zvládnutí havarijních situací.

7.2.2. Základní způsoby řízení a zajištění spolehlivosti provozu osvětlení

Rozeznáváme několik způsobů řízení provozu podle místa ovládání, způsobu ovládání, úrovně regulace osvětlení, parametrů regulace aj. Vyšších úrovní řízení se využívá u osvětlovacích soustav, u kterých je buď definovatelný provozní režim, nebo u kterých lze tím docílit zhospodárnění provozu.

Rozdělení podle místa ovládání:

- místně, z místa provozu osvětlení,
- dálkově, z místa centralizovaného řízení (při časově a parametricky definovatelných provozních režimech),
- dálkově i místně; použití v případech, kdy definované podmínky provozu nemusí vyhovovat právě se vyskytujícím místním podmínkám pro žádané osvětlení a má být zabráněno nežádoucím situacím s ohledem na uživatele osvětlení. Rozdělení podle způsobu ovládání:
- obsluhou, pomocí ovladačů (kontaktních nebo IR-ovladačů)
- samočinně, pomocí čidel reagujících na změnu světelného prostředí, přítomnost osob nebo jiný popud, např. při ztrátě napájení.

Rozdělení podle úrovně řízení, resp. regulace:

- jednoduché ovládání,
- řízení osvětlení jednoduchými regulačními prvky (u předradníků),
- řízení lokálními inteligentními regulátory (vybavené možností zadávání vstupních dat, ovládané čidly osvětlení; výstupy jsou závislé na zadaných hodnotách a charakteristikách řízení, případně jsou připojitelné na vyšší systémy řízení),
- vyšší systémy řízení na bázi počítačových sítí. Rozdělení regulace osvětlení podle parametrů řízení:
- na konstantní hodnotu osvětlenosti při umělém osvětlení,
- na časově proměnnou konstantní hodnotu osvětlenosti podle zadaného provozního režimu,
- na časově proměnnou hodnotu osvětlenosti podle zadané charakteristiky a provozního režimu,
- řízení umělého osvětlení v závislosti na denním osvětlení podle zadané závislosti a parametrů (případně oboustranně, tzn. současné řízení denního i umělého osvětlení).

Při řízení na konstantní hodnotu osvětlenosti je vhodný systém spojitě regulace, která umožňuje omezit spotřebu energií na osvětlení při jejím předimenzování, při změnách

osvětlení provedených údržbou, při využití světelných zdrojů s vyšším měrným výkonem během života zařízení aj.

Časově podmíněná regulace osvětlení se může vyskytnout v situacích podmíněných motivačně, změnou provozního režimu, při využití světelných spotřebičů v rámci regulace odebíraného příkonu z elektrické sítě atd.

Při řízení umělého osvětlení v závislosti na denním osvětlení v daném prostoru je nutno respektovat druh a vlastnosti denního osvětlení, zejména z hlediska jasových situací.

Základní způsoby zajištění provozu se týkají především spolehlivosti dodávky elektrické energie pro dané osvětlení. Rozeznáváme tři základní stupně spolehlivosti dodávky:

- základní, napájení je závislé na spolehlivosti dodávky z elektrizační soustavy (třetí stupeň důležitosti dodávky),
- zvýšená spolehlivost, napájení je zajištěno jak z elektrizační soustavy, tak z náhradního zdroje (druhý stupeň důležitosti dodávky),
- nejvyšší spolehlivost, zařízení je napájeno z elektrizační soustavy nebo náhradního zdroje či nouzového zdroje (první stupeň důležitosti dodávky).

Zvláštním případem jsou např. svítidla se zabudovaným autonomním zdrojem za obvyklých podmínek dobíjených z normální elektrické sítě, které se uvedou do provozu při ztrátě napětí ze strany sítě (svítidla nouzového osvětlení). Různé druhy osvětlení podle požadovaných záruk provozu jsou připojovány do různých úseků napájení, podle stupně jejich zajištění dodávky energie. Nejvyšší stupeň zajištění se požaduje u nouzového - havarijního - osvětlení, u kterého je nutno zkoumat i dovolenou prodlevu ztráty osvětlení. Tomu pak musí odpovídat druh zvoleného nouzového zdroje.

Zajištění osvětlení nebezpečných a manipulačně důležitých míst při poruše světelného zdroje se obvykle jistí svítidly s více zdroji, nebo více svítidly, zapojenými do úseku s vyšším stupněm zajištění dodávky.

7.3. Údržba osvětlení

7.3.1. Základní pojmy z údržby osvětlení

Údržba osvětlení, činnosti, zajišťující provozní vlastnosti osvětlení v požadovaných mezích nebo v ekonomickém režimu.

Údržba denního osvětlení, činnosti, zajišťující požadované vlastnosti denního osvětlení. Hlavní činnosti údržby denního osvětlení jsou: čištění osvětlovacích konstrukcí z venkovní i vnitřní strany, obnova povrchových úprav v interiéru, odstraňování závad na osvětlovacích konstrukcích, údržba regulačního systému denního osvětlení aj.

Údržba umělého osvětlení, činnosti, zajišťující požadované vlastnosti umělého osvětlení. Rozeznáváme elektrotechnickou údržbu a světelně-technickou údržbu umělého osvětlení.

Údržba umělého osvětlení elektrotechnická, odstraňuje provozní závady na elektrotechnické části soustavy umělého osvětlení. Rozhraním jsou světelné zdroje, které jsou zde zařazeny do údržby světelně-technické.

Údržba umělého osvětlení světelně-technická, činnosti, jimiž se přímo ovlivňují světelné vlastnosti osvětlení. Hlavní činnosti světelně-technické údržby jsou: výměna světelných zdrojů (pokud je k tomu oprávněna), čištění svítidel a obnova povrchových úprav interiéru (v prostoru s denním osvětlením je zahrnuta do údržby denního osvětlení).

Skupinová výměna světelných zdrojů, výměna všech zdrojů ucelené části nebo celé osvětlovací soustavy při jejich stanoveném opotřebení (bez ohledu na okamžitý fyzický stav jednotlivých zdrojů).

Individuální výměna světelných zdrojů, výměna světelných zdrojů, které předčasně ukončily svůj život nebo svým nestálým provozním režimem ruší zrakovou pohodu. Pokud výpadek jednotlivých zdrojů nezpůsobil rušivé změny v osvětlení, může být jejich výměna oddálena do »dílní skupinové výměny«. Pokud je individuální výměna používána trvale, pak jsou v systému provozovány zdroje různého stáří, zdroje provozně-ekonomické i neekonomické.

Čištění svítidel nasucho, čištění svítidel suchými procesy (otěrem antistatickými utěrkami, utěrkami zvlhčenými v roztoku saponátu, vakuovým odsáváním aj.).

Čištění svítidel namokro, čištění vyjímatelných dílů svítidel rozmýváním ulpělých nečistot na povrchu svítidel v roztocích vhodného složení. Přitom se provádí i omytí povrchů světelných zdrojů.

Ekonomický interval údržby, časové období mezi dvěma stejnými činnostmi údržby, ve kterém je nutno provést údržbu pro zachování ekonomie provozu osvětlení.

Jsou používány:

- ekonomický interval výměny světelných zdrojů,
- ekonomický interval čištění svítidel,
- ekonomický interval obnovy povrchových úprav povrchů osvětlovaného prostoru.

Udržovací činitel, podíl průměrné osvětlenosti na srovnávací nebo pracovní rovině nebo v určeném místě po určité době používání osvětlovací soustavy k průměrné osvětlenosti za stejných podmínek soustavy, kterou lze považovat za novou. Rozeznáváme hodnoty provozní v určitém čase a hodnotu nejmenší přípustnou.

Poznámka: udržovací činitel se za obvyklých podmínek používá jako limitní hodnota, při níž počáteční hodnota osvětlenosti $\bar{E}_i$ klesne na nejmenší přípustnou hodnotu osvětlenosti $\bar{E}_m$ ($z = \bar{E}_m / \bar{E}_i$); při jeho dosažení musí následovat některá z činností údržby osvětlení, která zvýší provozní hodnotu osvětlenosti nad stanovenou dolní mez $\bar{E}_m$.

Udržovací činitel z se stanoví součinem čtyř určených hodnot dílčích činitelů změn osvětlení, ovlivnitelných údržbou:

- činitel stárnutí světelných zdrojů, z_z
- činitel funkční spolehlivosti světelných zdrojů z_{fz} , užívá se jen při skupinové výměně světelných zdrojů, jinak $z_{fz} = 1$,
- činitel znečištění svítidel, z_s
- činitel znečištění ploch osvětlovaného prostoru, z_p

$$z = z_z \cdot z_{fz} \cdot z_s \cdot z_p \quad (7.1)$$

7.3.2. Provozní změny v osvětlovacích soustavách

Během života osvětlovacích zařízení dochází v jejich parametrech ke změnám, jež mají zčásti vratnou charakteristiku a zčásti jsou fyzikálně chemické povahy s charakteristikou nevratnou. Mezi vratné změny patří takové, které se mění v závislosti na vnějších podmínkách (teplotě, napětí, frekvenci aj.), nebo které mohou být obnoveny čištěním svítidel a obnovou povrchových úprav v osvětlovaném prostoru. Mezi nevratné změny patří stárnutí světelných zdrojů. Při dosažení určité limitní hodnoty činitele stárnutí je nezbytná výměna zdrojů, protože jejich další činnost je již neekonomická. Přitom světelný zdroj se zdánlivě může zdát funkční, ale na jednotku produkce světelného množství se již spotřebuje hodně energie. Podobně ekonomickou dobu života svítidel určují nevratné změny na svítidlech. Při dosažení určitého znehodnocení svítidla nevratnými změnami již efekt čištění svítidla není dostatečně účinný. Nevratné změny na svítidlech jsou způsobeny změnami ve hmotách (povrchově i objemově). Dochází tím ke změnám světelných vlastností aktivních částí svítidel, k deformaci původní křivky svítivosti a zhoršení jejich provozní účinnosti.

Změny na osvětlovacích zařízeních charakteru stárnutí a znečištění mají v čase exponenciální průběh s různou tendencí poklesu světelných parametrů.

U světelných zdrojů se průběh stárnutí liší podle druhu zdrojů. Určité rozdíly jsou u různých výkonových stupňů stejného druhu. Také výrobky různých firem mají určité odlišnosti. Některé firmy uvádějí na trh zdroje s pomalejším stárnutím a delším životem. Za hlavní měřítko lze považovat spotřebu energie na jednotku vyzářeného světelného množství během jeho života. Na stárnutí světelných zdrojů má vliv i způsob jejich provozování. U zdrojů s elektronickými předradníky je tento vliv částečně eliminován řízeným náběhem do provozu.

Odstranitelné i neodstranitelné změny na svítidlech jsou závislé na vlastnostech prostředí v okolí svítidel a na jejich materiálovém a konstrukčním provedení (antikorozní provedení, krytí, vybavení prachovými filtry atd.). Čím je prostředí obtížnější, tím je pokles světelných parametrů svítidla rychlejší.

V zavedené metodice se uvažuje u svítidel jen s odstranitelným znečištěním. Pomalejší, skrytější, ale neodstranitelné narušení svítidel se neposuzuje. To nutně zkresluje vyhodnocení provozních vlastností svítidel během jejich života a nepřipomíná, že mají svou ekonomickou provozní dobu života. Také čištění svítidel má svou problematickou stránku. Dosáhnout původních parametrů svítidla jeho čištěním není prakticky reálné. Ve svítidle i na jeho povrchu vždy zůstává část nečistot, které prostým okem nevnímáme. Na základě změřených údajů je efektivnost čištění svítidel ve střední době jejich života cca 60 až 90 %. Běžné čištění nasucho musí být po několika opakováních nahrazeno čištěním namokro, má-li mít čištění potřebný efekt.

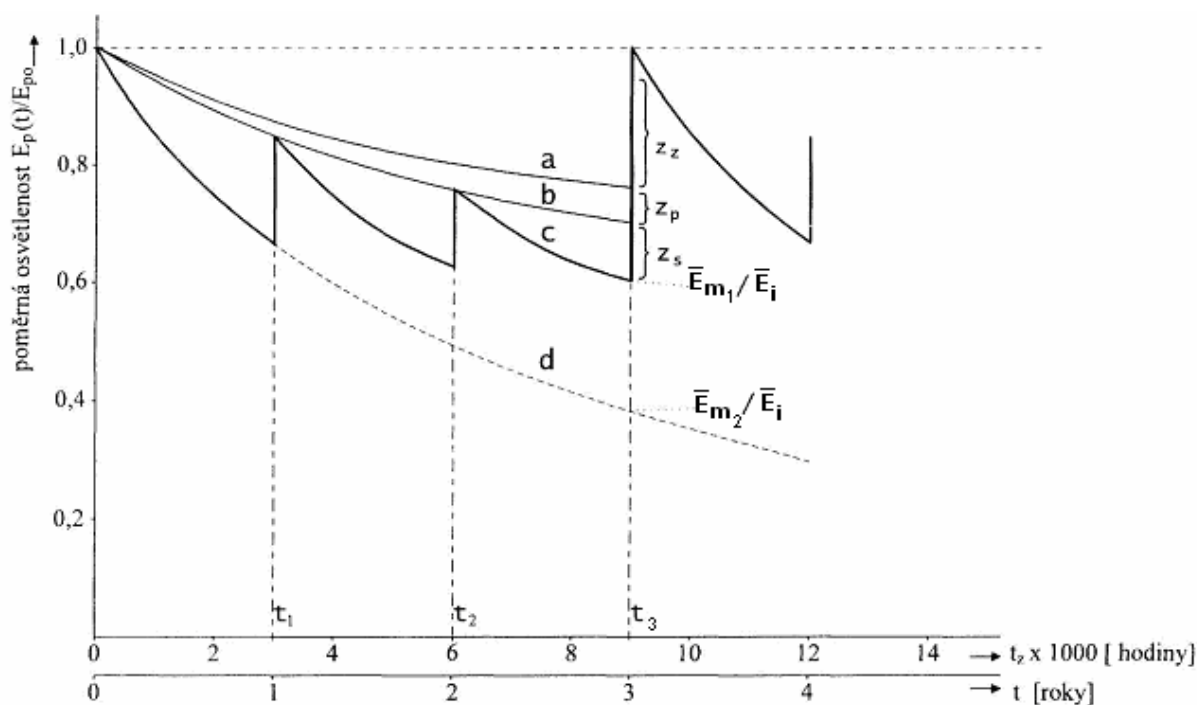
Vliv znečištění hlavních ploch osvětlovaného prostoru ovlivňuje především odraženou složku osvětlenosti a projevuje se snížením jejich jasu. Podstatným způsobem závisí činitel znehodnocení ploch osvětlovaného prostoru na velikosti přímých světelných toků ze svítidel na strop a stěny místnosti.

Dalším významným činitelem v životě osvětlovacích soustav je vyhořívání (úmrtnost) světelných zdrojů. Jde o náhlé selhání činnosti zdroje, případně jeho přechod k rušivému nestabilnímu chování. V počátečním stadiu provozu zdrojů (do cca 100 provozních hodin) se mohou projevit hrubé výrobní vady na výrobku, které znamenají rychlé vyřazení z provozu.

Pak následuje klidné období provozního života s jen ojedinělými výpadky zdrojů. V závěru života zdrojů se jejich úmrtnost zvyšuje a teoreticky po vyhoření 50 % zdrojů jejich fyzický život končí. U nekvalitních výrobků je vyhořívání zdrojů rozloženo v poměrně širokém pásmu a vyžaduje náročnější údržbu.

Hodnocení součinnosti provozuschopných zdrojů k jejich celkovému počtu vyjadřuje činitel funkční spolehlivosti světelných zdrojů $z_{fz}(t)$. Podle způsobu údržby se jeho velikost uvažuje rozdílně:

- při individuální výměně světelných zdrojů (po vyhoření nebo poruše zdroje) je $z_{fz} = 1$.
- při skupinové výměně zdrojů uvažujeme s hodnotou činitele z_{fz} v takové úrovni, jakou chceme dovolit. Pokud praktikujeme dílčí skupinové výměny před výměnou hromadnou, je $z_{fz} = 0,95$ až 1, pokud praktikujeme jen výměnu hromadnou, pak z_{fz} může být o něco nižší a jeho hodnotu je nutno stanovit v závislosti na vlastnostech zdrojů. Pokud skupinové nebo hromadné výměně předchází individuální výměna světelných zdrojů v poruše, pak $z_{fz} = 1$. V tomto případě vyměněné zdroje skutečně nadlepšují provozní hodnoty osvětlení, tuto složku navýšení však zanedbáváme. Při provádění hromadné skupinové výměny zdrojů je nutno počítat v případě vzniku velké nerovnoměrnosti osvětlení s nutným dílčím zásahem do osvětlovací soustavy. Teoretický vliv jednotlivých činitelů změn osvětlení na průběh provozních parametrů osvětlení (bez vlivu činitele $z_{fz}(t)$) vystihují křivky, nakreslené na Obr.7.1.



Obr. 7.1 Průběh poměrné místně průměrné osvětlenosti, vztahované k její časově maximální hodnotě v závislosti na vykonávání údržby

V Obr.7.1 je vyznačeno:

v době t_1 a t_2 čištění svítidel

t_3 hromadná výměna světelných zdrojů, čištění svítidel a obnova povrchových úprav místnosti

t_z provozní doba zdrojů (hodiny)

t celková doba (roky)

a plocha nad křivkou a je úměrná ztrátám světla stárnutím světelných zdrojů

$a - b$ plocha mezi křivkami a, b je úměrná ztrátám světla znečištěním ploch osvětlovaného prostoru

$b - c$ plocha mezi křivkami b, c je úměrná ztrátám světla znečištěním svítidel

$c - d$ plocha mezi křivkami c, d je úměrná přídatným ztrátám světla při zanedbávání čištění svítidel

$\overline{E}_{m_1} / \overline{E}_i$ poměrná minimální hodnota průměrné osvětlenosti při provádění údržby

$\overline{E}_{m_2} / \overline{E}_i$ poměrná minimální hodnota průměrné osvětlenosti při zanedbávání údržby

Exponenciální průběhy křivek znázorňují časové průběhy změn osvětlení, svislé úsečky změny osvětlení působením údržby. Uvažovaná provozní doba zdrojů $t_z = 3000 \text{ h} \times \text{rok}^{-1}$.

Literatura:

- [7.1] *Plch, J.:* Světelná technika v praxi, Praha, 1999.
- [7.2] *Habel, J.:* Světelná technika a osvětlování, FCC Public, 1995.
- [7.3] *Sokanský, K.:* Inteligentní řízení osvětlovacích soustav vnitřního osvětlení, Publikace ČEA, Ostrava 2004.
- [7.4] *Sokanský, K a kolektiv.:* Úspory el. Energie na veřejném osvětlení, Česká společnost pro osvětlování, Ostrava 2002.
- [7.5] *Sokanský, K.:* Elektrické světlo a teplo, Skripta VŠB-TU Ostrava 1990.
- [7.6] ČSN 36 0020 Sdružené osvětlení budov, 1986.

8. LEGISLATIVA V OBLASTI OSVĚTLOVÁNÍ

8.1. Úvod

Předmětem normování je výběr vhodných fyzikálních parametrů osvětlení a určení hraničních nebo doporučených hodnot těchto parametrů. Přednostním hlediskem při určování limitů je hygiena a bezpečnost práce, zohledňují se také technické a ekonomické možnosti.

8.2. ČSN 73 058 Denní osvětlení budov

Právní ochrana nároku na denní světlo zahrnuje zejména:

- zajištění vyhovujícího denního osvětlení všude tam, kde je to v zájmu lidí nezbytné
- zábrana či omezení výstavby budov nebo jiných zařízení tam, kde by mohlo být omezeno denní osvětlení v realizovaných a užívaných budovách pod žádané limitní hodnoty. Stejně tak by se mělo postupovat i při ochraně pozemků a území určených pro budoucí výstavbu.

Požadavky na denní osvětlení budov jsou obsaženy v normě ČSN 73 058 Denní osvětlení budov, která má tyto části:

- Část 1: Základní požadavky
- Část 2: Denní osvětlení obytných budov
- Část 3: Denní osvětlení škol
- Část 4: Denní osvětlení průmyslových budov

V nově navrhovaných budovách musí mít vždy vyhovující denní osvětlení tyto vnitřní prostory.

- a) obytné místnosti bytů
- b) ložnice a pokoje zařízení pro dlouhodobé ubytování (domovy mládeže, koleje, ubytovny atd.) a pro dlouhodobou rekreaci (zotavovny atd.)
- c) denní místnosti zařízení pro předškolní výchovu (jeslí a mateřských škol.)
- d) učebny škol kromě speciálních poslucháren (ČSN 73 0580-3)
- e) vyšetřovny a lůžkové místnosti zdravotnických zařízení
- f) místnosti pro oddech a jídelny, určené pro uživatele vnitřních prostorů bez denního světla

Úroveň denního světla

Množstvím denního světla se rozumí celkový světelný tok vstupující konstrukcemi osvětlovacích otvorů do osvětlovaného prostoru zesílený mnohonásobnými odrazy ve vnitřním prostoru. Množství světla je primární veličinou, od které se odvíjí ostatní parametry denního osvětlení interiéru.

Na hodnocení a vzájemné porovnání prostorů s denním osvětlením se jako základní parametr používá činitel denní osvětlenosti. Jeho použití vyplývá z relativní jednoduchosti výpočtu, interpretace a měření, i když z hlediska vnímání světla zrakem je rozhodující jas a kontrast jasu pozorovaných ploch.

Požadavky na úroveň denního osvětlení potřebnou pro různě obtížné zrakové činnosti se stanoví pomocí hodnot činitele denní osvětlenosti na základě zařazení činnosti do tříd (viz. níže).

Hlavním vodítkem pro zařazení činnosti je poměrná pozorovací vzdálenost kritického detailu zrakového úkolu.

Příklady zařazení zrakových činností do tříd:

- I Nejpřesnější zrakové činnosti s omezenou možností použití zvětšení, s požadavkem na vyloučení chyb v rozlišení, nejobtížnější kontrola
- II Velmi přesné činnosti při výrobě a kontrole, velmi přesné rýsování, ruční rytí s malými detaily, velmi jemné umělecké práce
- III Přesná výroba a kontrola, rýsování, technické kreslení, obtížné laboratorní práce, náročná vyšetření, jemné šití, vyšívání
- IV Středně přesná výroba a kontrola, čtení, psaní (rukou i strojem), obsluha strojů, běžné laboratorní práce, vyšetření, ošetření, hrubší šití, pletení, žehlení, příprava jídel, závodní sporty
- V Hrubší práce, manipulace s předměty a materiálem, konzumace jídla a obsluha, oddechové činnosti, základní a rekreační tělovýchova, čekání
- VI Udržování čistoty, sprchování mytí, převlékání, chůze po komunikacích přístupných veřejnosti
- VII Chůze, doprava materiálu, skladování hrubého materiálu, celkový dohled

Minimální hodnoty činitele denní osvětlenosti musí být splněny ve všech bodech vnitřního prostoru nebo jeho funkčně vymezené části.

Průměrné hodnoty činitele denní osvětlenosti musí být splněny pouze u vnitřních prostorů

a) s horním denním osvětlením

b) s kombinovaným denním osvětlením, u kterých se horní osvětlení na průměrné hodnotě činitele denní osvětlenosti podílí nejméně jednou polovinou.

Toto rozlišení požadavků na minimální a průměrné hodnoty činitele denní osvětlenosti vychází ze skutečnosti, že u horního osvětlení (nebo kombinovaného s převahou horního) kolísají hodnoty v celém prostoru okolo určité průměrné hodnoty, na kterou je zrak přizpůsoben, kdežto u bočního osvětlení (nebo u kombinovaného s převahou bočního) stoupá úroveň osvětlení od minimálních hodnot v nejméně osvětleném místě až k vysokým hodnotám v blízkosti osvětlovacích otvorů.

Kontrolním místem na kterém se ověřuje dostatečné množství denního světla v osvětlovaném prostoru je horizontální srovnávací rovina. V síti kontrolních bodů na srovnávací rovině musí být ověřeny požadované hodnoty činitele denní osvětlenosti a rovnoměrnost osvětlení jako měřítko rozdělení světelných toků v interiéru.

Při trvalém pobytu lidí ve vnitřním prostoru nebo jeho funkčně vymezené části musí být minimální hodnota činitele denní osvětlenosti nejméně 1,5% a průměrná hodnota, pokud se v daném prostoru požaduje, nejméně 3%, i když pro dané zrakové činnosti stačí hodnoty nižší.

Při zvláštních okolnostech ztěžujících vidění se požadavky na hodnoty činitele denní osvětlenosti mohou ještě zvyšovat.

Z kvalitativního hlediska jsou pro denní osvětlení nejzávažnější:

- rovnoměrnost osvětlení,
- jasové poměry
- směrové účinky denního světla
- oslnění
- vizuální kontakt s exteriérem (výhled)

8.3. ČSN 36 0020-1 Sdružené osvětlení

Základními problémy sdruženého osvětlení jsou:

- a) trvalý nebo po většinu dne trvající nedostatek denního světla,
 - b) velký kontrast mezi jasnem pozorovaných předmětů a jasnem osvětlovacích otvorů jako i velké rozdíly v jasu jednotlivých částí interiéru při osvětlení denním světlem.
- Nepříznivé jasové poměry se vyrovnávají doplňujícím umělým osvětlením.

8.4. Odkazy na zákony, nařízení vlády, vyhlášky, normy

- Zákon č. 65/ 1965 Sb., zákoník práce, v platném znění
 - Zákon č. 50/ 1976 Sb., o územním plánování a stavebním řádu, v platném znění
 - Zákon č. 50/1976 Sb., o územním plánování a stavebním řádu, v platném znění
 - Zákon č. 22/ 1997 Sb., o technických požadavcích na výrobky a o změně a doplnění některých zákonů, v platném znění
 - Zákon č. 258 / 2000 Sb., o ochraně veřejného zdraví, v platném znění
 - Nařízení vlády č. 251/2003 Sb., kterým se stanoví technické požadavky na strojní zařízení, v platném znění
 - Nařízení vlády č. 178/2001 Sb., kterým se stanoví podmínky ochrany zaměstnanců při práci, v platném znění
 - Vyhláška MMR č. 137/1998 Sb., o technických požadavcích na výstavbu
 - Vyhláška MZD. č. 108/2001 Sb., kterou se stanoví hygienické požadavky na prostory a provoz škol, předškolních zařízení a některých školních zařízení
 - Vyhláška MZd. č.148/2004 Sb., o hygienických požadavcích na zotavovací akce pro děti
 - Vyhláška č.135/2004 kterou se stanoví hygienické požadavky na koupaliště, sauny a hygienické limity venkovních hracích ploch.
 - Vyhláška č. 442/2004 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
- 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 –1 Sdružené osvětlení Část 1 Základní požadavky
ČSN 36 0452 Umělé osvětlení obytných budov
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 EN 1837 Bezpečnost strojních zařízení – Integrované osvětlení strojů

ČSN EN 12 193 Světlo a osvětlení – Osvětlení sportovišť

ČSN EN 12 464-1 Světlo a osvětlení – Osvětlení pracovních prostorů Část 1: Vnitřní pracovní prostory

ČSN EN 12 665 Světlo a osvětlení – Základní termíny a kritéria pro stanovení požadavků na osvětlení

Literatura:

- [8.1] *Plch, J.:* Světelná technika v praxi, Praha, 1999.
- [8.2] *Habel, J.:* Světelná technika a osvětlování, FCC Public, 1995.
- [8.3] *Sokanský, K.:* Inteligentní řízení osvětlovacích soustav vnitřního osvětlení, Publikace ČEA, Ostrava 2004.
- [8.4] *Sokanský, K a kolektiv.:* Úspory el. Energie na veřejném osvětlení, Česká společnost pro osvětlování, Ostrava 2002.
- [8.5] *Sokanský, K.:* Elektrické světlo a teplo, Skripta VŠB-TU Ostrava 1990.
- [8.6] ČSN 36 0020 Sdružené osvětlení budov, 1986.

9. SVĚTELNÉ ZDROJE

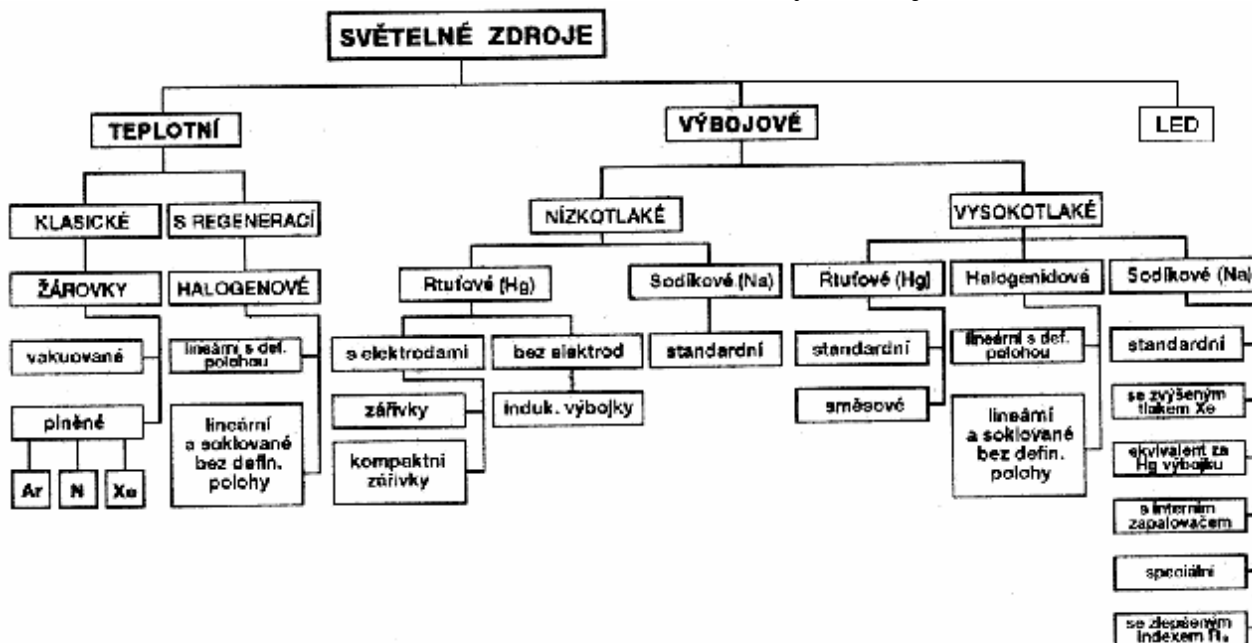
9.1. Úvod

Jednou z nejdůležitějších oblastí racionalizace osvětlování je oblast světelných zdrojů. Mezi hlavní parametry, které se u světelných zdrojů sledují patří měrný výkon, doba života, index podání barev, možnost stmívání a rozměry. Hlavní trendy, které budou mít významný vliv na nové typy světelných zdrojů jsou miniaturizace a vývoj bodového, přímkového popřípadě plošného zdroje. Dalším trendem s největší pravděpodobností bude rozšiřování výkonového rozsahu světelných zdrojů.

Vzhledem k tomu, že se zabýváme pouze úzkým okruhem osvětlování, budeme zde rozebírat pouze světelné zdroje vhodné k použití v kancelářích, školách a bytových prostorech. Jedním ze základních požadavků, který se prolíná námi řešenými prostory je požadavek na vysoký index podání barev. Dle normy ČSN EN 12464 – 1 pro osvětlování pracovních prostorů **nelze v kancelářských a školských budovách připustit světelný zdroj s indexem podání barev menším než 80**. U bytových prostorů není tento požadavek vymezen, nicméně kvalitní vnímání barev je velmi důležité i zde. Dále se tedy budeme zabývat pouze světelnými zdroji, které splňují podmínku vysokého indexu podání barev, lze je nasazovat pro osvětlování bytových, kancelářských a školních prostorů.

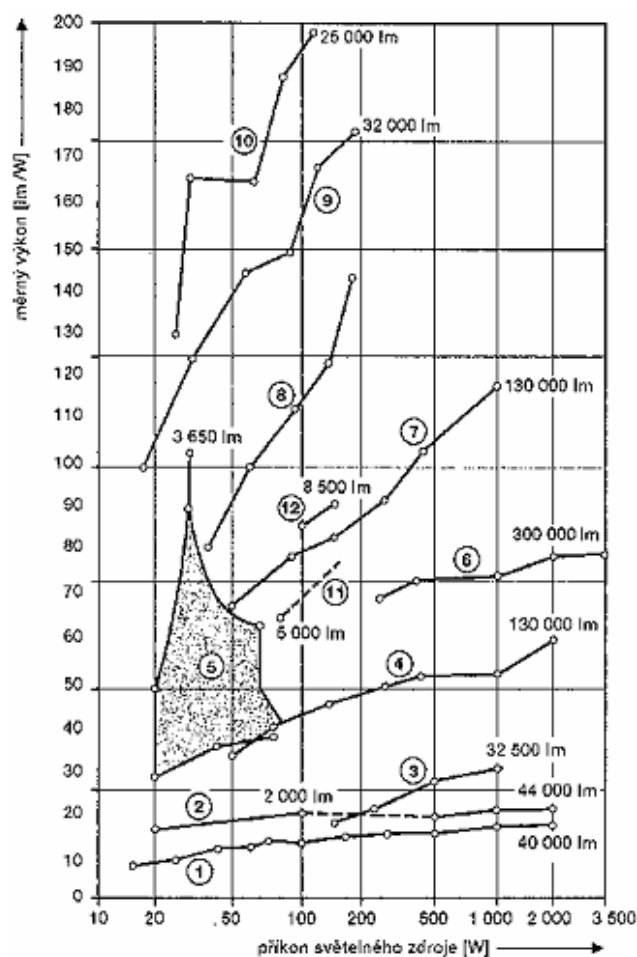
Pro získání přehledu o struktuře světelných zdrojů je v následující tabulce uvedeno jejich základní členění. Při pohledu na tabulku přerozdělení světelných zdrojů, je nutné si uvědomit, že rychlým nástupem moderních polovodičových technologií vstupují do hry nejen světelné zdroje teplotní a výbojové, ale také světelné zdroje na bázi LED diod. Domníváme se že v blízké budoucnosti se i struktura LED diod bude dále členit.

Tab.9.1: Schematické rozdělení světelných zdrojů



Na obrázku Obr. 9.1 se nacházejí závislosti s měrných výkonů zdrojů pro všeobecné osvětlování. Tyto závislosti ukazují velice důležitou vlastnost světelných zdrojů. A sice míru přeměny spotřebované elektrické energie na vyzářený světelný tok. Pro jednotlivé typy světelných zdrojů jsou zde uvedeny měrné výkony pro jednotlivé příkony. Vzhledem k tomu,

že LED diody se pohybují v oblasti velmi nízkých příkonů, není rozsah jejich měrných výkonů na obrázku znázorněn. V současnosti měrný výkon LED diod dosáhl maxima v oblastech do 60 lm/W.



Obr. 9.1: Měrné výkony světelných zdrojů pro všeobecné osvětlování

Legenda k Obr. 9.1:

- (1) klasické žárovky
- (2) halogenové žárovky
- (3) směšové výbojky
- (4) rtuťové výbojky vysokotlaké
- (5) nízkotlaké – zářivky a kompaktní zářivky
- (6) halogenidové výbojky
- (7) vysokotlaké sodíkové výbojky
- (8) nízkotlaké sodíkové výbojky
- (9) nízkotlaké sodíkové výbojky nové generace SOX
- (10) nízkotlaké sodíkové výbojky nové generace SOX-E
- (11) indukční výbojky
- (12) indukční výbojky nové generace

9.2. Základní parametry světelných zdrojů

Parametry světelných zdrojů lze rozdělit na kvantitativní a kvalitativní:

- Mezi kvantitativní parametry patří vyzařovaný světelný tok Φ (lm) a jejich elektrický příkon P (W). Pro vzájemné porovnání světelných zdrojů je velmi důležitou veličinou měrný výkon η ($\text{lm}\cdot\text{W}^{-1}$). Tyto parametry jsou důležité zejména pro uživatele a projektanty, kteří potřebují znát celkový příkon osvětlovací soustavy.
- Kvalita světelných zdrojů se posuzuje podle délky jejich života T (hod), podle barevného podání a podle stálosti světelně-technických parametrů.

Mezi důležité vlastnosti patří také geometrické rozměry, tvar, hmotnost, distribuce a možnost úpravy světelného toku. Samostatnou kapitolu pak tvoří pořizovací a provozní náklady.

Doba života žárovek končí přerušením vlákna a je dána užitečnou, případně fyzickou dobou života.

Barevné podání (index podání barev), nebo také chromatičnost světelných zdrojů je určena spektrálním složením vyzařované energie. Vyjadřuje se pomocí trichromatických souřadnic anebo teploty chromatičnosti. V praxi se však světelné zdroje rozlišují především podle barevného tónu vyzařovaného světla. Jakost úrovně vjemu barev se číselně vyjadřuje pomocí všeobecného indexu podání barev R_a (-). Při denním světle a světle teplotních zdrojů je barevné vnímání nejvěrnější a proto tyto mají $R_a = 100$. Při světle nízkotlaké sodíkové výbojky, která vyzařuje monochromatické světlo se vjem barvy nerozlišuje a proto je $R_a = 0$. Podání barev je uspokojivé, je-li R_a větší než 40 a za dobré je považováno je-li R_a větší než 80.

Stálost světelně technických parametrů souvisí s provozními vlastnostmi světelných zdrojů. Jedná se o časovou závislost, kterou lze definovat jako rychlou nebo pomalou:

- Rychlými změnami se rozumí změny parametrů např. světelného toku v závislosti na napájecím napětí o frekvenci 50 Hz. Světelný tok kolísá s dvojnásobnou frekvencí a hloubka kolísání závisí na setrvačných vlastnostech světelného zdroje. Tento jev může vyvolat stroboskopický efekt, který se stává nebezpečnou záležitostí v některých provozech, zejména v provozech s točivými stroji. Mezi další rychlé změny patří také změny světelného toku v závislosti na kolísání efektivní hodnoty napětí. Toto kolísání je způsobeno provozem některých spotřebičů jako jsou např. elektrické obloukové pece. Rušivě ovlivňuje zrakový vjem zejména kolísání světelného toku v oblasti frekvencí 8 – 12 Hz. Na kolísání napětí jsou nejcitlivější žárovky. Mezi rychlé změny se také počítají změny parametrů v souvislosti s náběhem světelného zdroje po zapnutí k napájecí síti. Žárovky nabíhají téměř okamžitě, zatímco parametry výbojových světelných zdrojů se ustalují až po několika minutách.
- Pomalými změnami se rozumí závislost parametrů světelných zdrojů na statických změnách napětí, což se vyjadřuje pomocí křížových charakteristik. Mezi pomalé změny patří rovněž změny parametrů způsobené stárnutím světelných zdrojů. Během jejich doby života světelný tok klesá. Například u žárovek se sníží po 1000 hod. provozu světelný tok na 90 %. U výbojových zdrojů se požaduje, aby po uplynutí doby života nepoklesl jejich světelný tok pod 70 % jmenovité hodnoty.

9.3. Označování světelných zdrojů energetickými štítky

Vyhláška 442 ze dne 8. července 2004, 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:

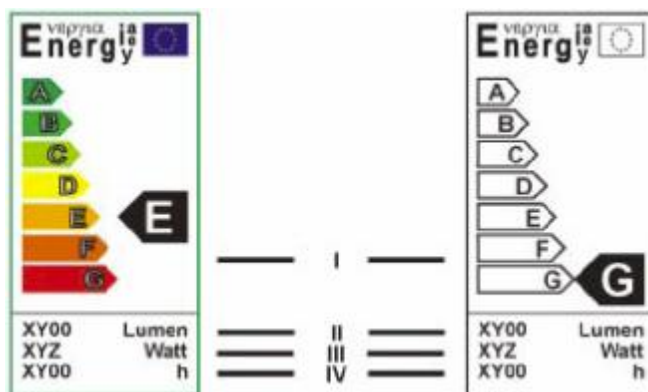
- žárovek a integrálních kompaktních zářivek,
- zářivek pro domácnost včetně lineárních a neintegrálních kompaktních zářivek.

Nevztahuje se na:

- světelné zdroje se světelným tokem vyšším než 6500 lm
- světelné zdroje s příkonem nižším než 4 W
- reflektorové žárovky
- zdroje světla pro použití s jinými zdroji energie, např. bateriemi

Energetický štítek musí obsahovat tyto údaje:

- I. třídu energetické účinnosti světelného zdroje
- II. světelný tok světelného zdroje – pokud je tento údaj jinde na obalu světelného zdroje může být na štítku vypuštěn
- III. příkon světelného zdroje (ve wattech) - pokud je tento údaj jinde na obalu světelného zdroje může být na štítku vypuštěn
- IV. jmenovitou střední dobu života zdroje světla - pokud je tento údaj jinde na obalu světelného zdroje může být na štítku vypuštěn



Pro racionalizaci světelných zdrojů je velmi důležité určení třídy energetické účinnosti světelných zdrojů.

Třída energetické účinnosti se určuje takto:

Zdroje světla se zařazují do třídy A, jestliže:

- u zářivek bez vestavěného předřadníku (zdroje světla, které vyžadují předřadník nebo jiné zařízení pro připojení k síti)

$$W \leq 0,15 \cdot \sqrt{\Phi} + 0,0097 \cdot \Phi$$

- u jiných zdrojů světla

$$W \leq 0,24 \cdot \sqrt{\Phi} + 0,0103 \cdot \Phi$$

kde Φ je světelný tok zdroje světla v lumenech

kde W je příkon zdroje světla ve wattech.

Není-li zdroj světla zařazen do třídy A, vypočítá se referenční příkon W_R ze vztahu:

$$W_R = 0,88 \cdot \sqrt{\Phi} + 0,049 \cdot \Phi, \text{ jestliže } \Phi > 34 \text{ lm}$$

$$0,2 \Phi, \text{ jestliže } \Phi = 34 \text{ lm}$$

kde Φ je světelný tok zdroje světla v lumenech.

Index energetické účinnosti E_I se stanoví ze vztahu:

$$E_I = \frac{W}{W_R}$$

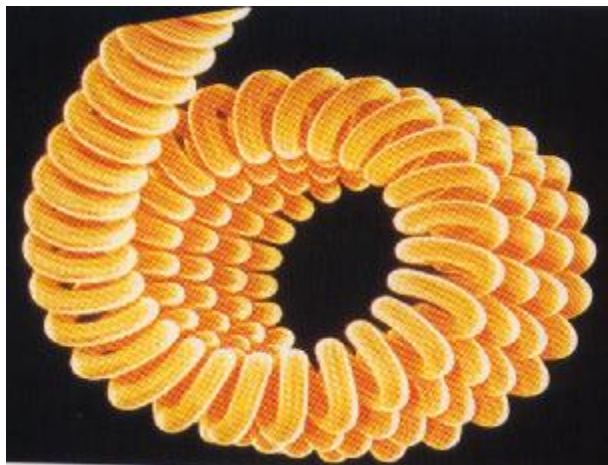
kde W je příkon zdroje světla ve wattech.

Tab. 9.2: Třídy energetické účinnosti se pak určují z následující tabulky

Třída energetické účinnosti	Index energetické účinnosti E_I
B	$E_I < 60 \%$
C	$60 \% \leq E_I < 80 \%$
D	$80 \% \leq E_I < 95 \%$
E	$95 \% \leq E_I < 110 \%$
F	$110 \% \leq E_I < 130 \%$
G	$E_I > 130 \%$

9.4. Žárovky

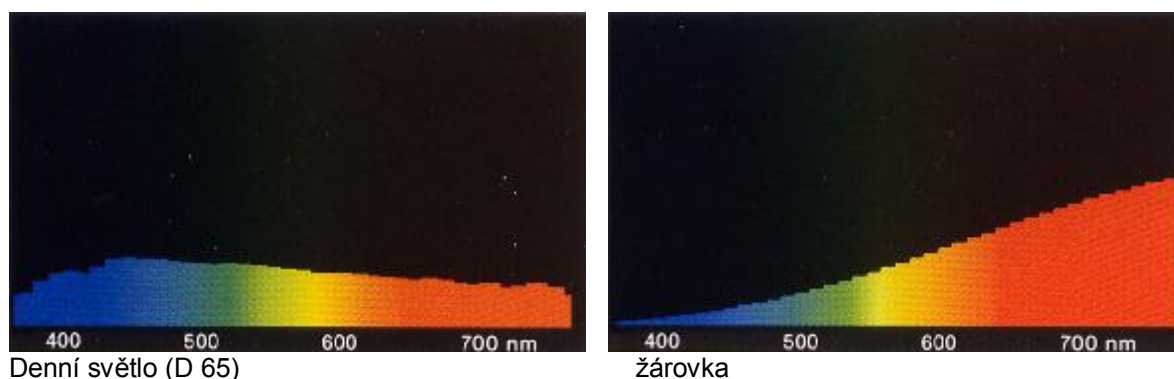
Obyčejné žárovky jsou stále nejpopulárnějším světelným zdrojem. Jejich teplé světlo vytváří příjemnou atmosféru a jsou stále nejvyhledávanější ve výběru světelných zdrojů pro všeobecné osvětlování.



Obr. 9.2: Dvojitě navinuté vlákno žárovky rozžhavené průchodem elektrického proudu

Žárovky jsou prvotními umělými zdroji světla využívající základní technologii jeho výroby, která je už víc jak 100 let stará. Princip technologie spočívá v tom, že do vnitřku vyčerpané skleněné baňky (vakuum) je uloženo vlákno z wolframu, které je protékáno elektrickým proudem. Elektrický proud způsobuje ohřev vlákna a tím i vyzařování v oblasti viditelného spektra elektromagnetického vlnění. Moderní žárovky mají vlákno ve tvaru spirály, která umožňuje vyšší účinnost a redukuje tepelné ztráty viz. *Obr. 9.4*. Baňky žárovek jsou vyčerpané na vysoké vakuum, proto aby chránili vlákno před sloučením s kyslíkem a jeho hořením. Baňky žárovek vyšších výkonů jsou plněny inertními plyny.

Měrný výkon žárovek se pohybuje okolo 10 lm.W^{-1} . Se vzrůstající teplotou vlákna vzrůstá i intenzita světelného toku a teplota chromatičnosti. První uhlíkové žárovky měly měrný výkon $1,7 \text{ lm.W}^{-1}$. Život žárovek se pohybuje okolo 1 000 hodin. Vlivem nových technologií navěšení vlákna a plnění baněk inertními plyny doba života dále vzrůstá.



Obr. 9.3: Spektrální vyzařování na vlnové délce viditelného světla (380 nm až 780 nm)

Rozdíly mezi spektrem denního světla a spektrem žárovky velice názorně ukazují příčinu nízkého měrného výkonu žárovek. Většina vyzářené energie se nepohybuje ve viditelné části spektra (380 nm – 780 nm), ale až v oblasti infračerveného, tedy neviditelného záření viz. *Obr. 9.3*.

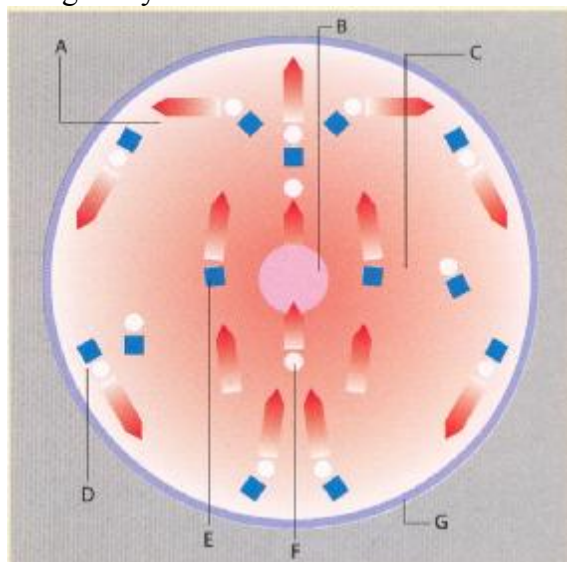
Světlo žárovek se může řídit nenákladnými stmívajícími zařízeními. Vzhledem na nízkou teplotu chromatičnosti T_c , vysoký index barevného podání $R_a = 100$ jsou stále oblíbené a hojně využívané hlavně v domácnostech, ale i ve společenských prostorách. Žárovky se vyrábějí v širokém sortimentu výkonů, rozměrů a tvarů pro speciální úlohy osvětlení a zvláštní nároky. Nové tvary a barevné odstíny dávají bytovým a společenským prostorám příjemnou atmosféru.

I světelné zdroje jako žárovky se v současnosti stále inovují. Dělají se pokusy na vylepšení emise spirál povlaky z hafnia. Moderní a účelné jsou zejména reflektorové multivrstvy baněk žárovek, u kterých zpětný odraz infračerveného záření vyhřívá vlákno. Relativně nové jsou také žárovky multimirror s průměrem 51 mm na síťové napětí. Tyto zdroje byly vyvinuty na základě vylepšení vlastností spirál tak aby se dosáhlo vyšší mechanické stability vlákna.

9.5. Halogenové žárovky

Halogenové žárovky jsou velmi kompaktní z čehož vyplývají široké možnosti jejich použití, zejména v přesném směřování světelných paprsků a proto se hodí pro osvětlování kanceláří a bytů.

Halogenové žárovky poskytují o 20 % vyšší účinnost než standardní žárovky. Ve standardní žárovce se wolfram z vlákna žárovky vypařuje a pokrývá povrch baňky, čímž se snižuje světelný tok ze žárovky. Kruhový proces uvnitř baňky způsobuje, že vypařený wolfram se při povrchu baňky slučuje s halogenem a vlivem tepelného pole se vrací zpět na vlákno, kde dochází k disociaci, tj. wolfram se usazuje zpět na vlákno žárovky a halogen se vrací k povrchu baňky. Tím se nejen zvyšuje světelný tok, ale prodlužuje se také doba života halogenových žárovek.



- A – Teplota pod 1400°C
- B – Wolframové vlákno
- C – Teplota nad 1400°C
- D – Halid wolframu
- E – Halogeny
- F – Wolframové částice
- G – Skleněná baňka

Obr. 9.4: Halogenová žárovka se znázorněním kruhového procesu ukládání wolframu zpět na vlákno

Kruhový proces je základem pro následující výrazné přednosti halogenových žárovek:

- s rostoucí teplotou vlákna roste i světelný tok
- vlivem obnovy povrchu vlákna roste doba života
- tím že nedochází k usazování wolframu na povrchu baňky, nedochází ani ke snižování světelného toku během doby života
- kompaktní tvar, který odpovídá tepelným požadavkům kruhového procesu

Halogenové žárovky poskytují příjemné svěží, bílé světlo s teplotou chromatičnosti 3100 K. Index barevného podání světla halogenových žárovek je $R_a = 100$. Halogenové žárovky jsou hospodárnější než standardní žárovky, jejich měrný výkon je cca 22 lm.W^{-1} a doba života se udává 2000 hodin.

Halogenové žárovky se vyrábějí pro různé úhly vyzařování např. 10° , 12° , 25° , 36° a 60° . Vyrábějí se i v širokém sortimentu výkonů, na napětí 230 V i na nízké napětí. Žárovky na nízké napětí se staly módní záležitostí. Vyrábějí se buď bez odrazné plochy nebo s dichroickým zrcadlem, které omezuje tepelnou složku ve vyzařovaném záření asi na 66 %, což je výhodné zejména při osvětlování předmětů, které jsou citlivé na infračervené záření.

Moderní halogenové žárovky procházejí etapou bouřlivého vývoje. I v tomto případě se používají reflexní selektivní povrchy - multivrstvy pro zpětný odraz teplotního záření na vlákno, jehož cílem je zvýšení měrného výkonu halogenových žárovek. Z podobných důvodů

je do baněk moderních halogenových žárovek dávkován i xenon. Do křemenného skla baňky se dotuje certit na potlačení UV záření. Stále více se také uplatňují moderní halogenové žárovky na síťové napětí, které se vyvinuly díky novým možnostem uchycení mnohem slabších vláken než se používají u halogenových žárovek na nízké napětí. Hitem posledních let jsou i nízkotlaké halogenové žárovky (nižší degradace wolframu) a také halogenové žárovky miniaturních rozměrů.

Nové halogenové žárovky se vyznačují následujícími přednostmi:

- mají až o 30 % vyšší měrný výkon
- vyšší životnost
- stabilitu světelného toku během celé životnosti
- stabilitu teploty chromatičnosti
- rovnoměrnější svítivost ve svazku v případě reflektorových halogenových žárovek
- nižší podíl UV záření a pod.

9.6. Kompaktní zářivky

Tyto světelné zdroje v sobě skrývají čtyři základní výhody:

- produkují světelný tok s vysokým indexem podání barev
- oproti žárovkám dosahují výrazné úspory energie
- dobře vypadají
- oproti žárovkám mají výrazně vyšší dobu života

Dvě z těchto výhod jsou viditelné na následujícím obrázku který srovnává příkon žárovek a kompaktních zářivek s odpovídajícím světelným tokem a dobu života těchto typů světelných zdrojů.

Žárovka		Kompakt
15 W	→	3 W
25 W	→	5 W
40 W	→	7 W
60 W	→	11 W
75 W	→	15 W
100 W	→	20 W
120 W	→	23 W

15 x 1000 h $\hat{=}$ 15000 h 100 % 20 %

Obr. 9.5: Srovnání žárovky a kompaktu

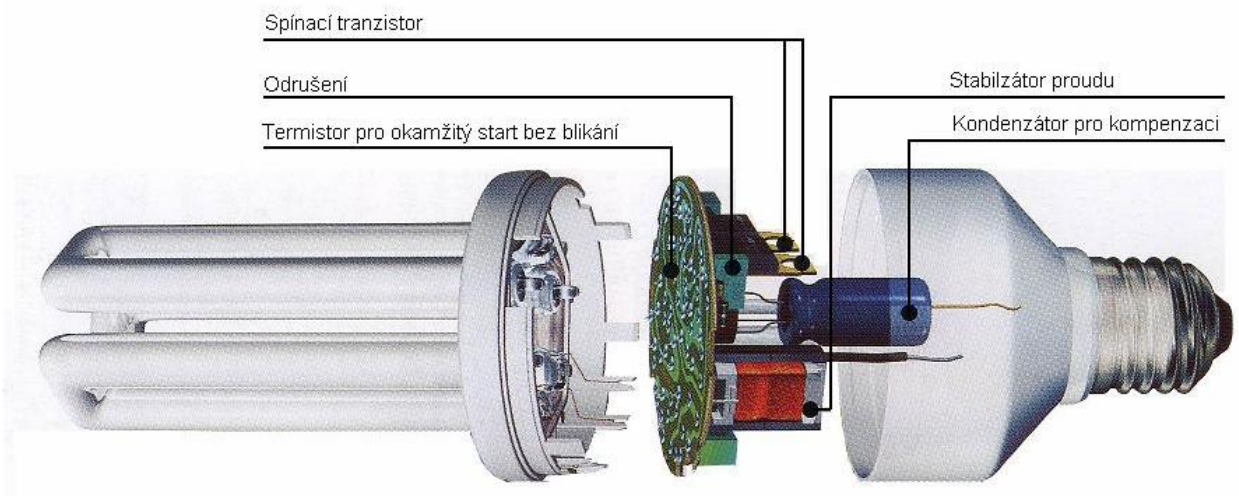
Kompaktní zářivky spotřebovávají výrazně méně elektrické energie než klasické žárovky, mají mnohem delší dobu života a většinou mohou být použity na stejných místech jako

obyčejné žárovky, protože jsou velmi kompaktní. Měrný výkon kompaktních zářivek je v porovnání s běžnými typy žárovek přibližně pětinasobně vyšší. Současně dosahovaná střední doba života zářivek je 15 000 hodin, zatímco střední doba života žárovek je 1000 hodin.

Kompaktní zářivky vyrábějí světlo na stejném principu jako zářivky. Páry rtuti jsou vlivem elektrického pole mezi elektrodami vybuzeny k emisi neviditelného UV záření. Vnitřní strana skla je opatřena vrstvou speciální látky - luminoforu, který přeměňuje UV - záření na viditelné světlo. Výběrem luminoforu je možno docílit různých barev světla. U kompaktních zářivek se díky zahnutí a rozdělení skleněných trubiček podařilo dosáhnout rozměrů srovnatelných se standardními žárovkami.

Kompaktní zářivky můžeme rozdělit do tří skupin:

- kompaktní zářivky s implementovaným předřadníkem jako úsporná alternativa žárovek viz. *Obr. 9.6*,
- kompaktní zářivky pro zvlášť malá svítidla viz. *Obr. 9.7*,
- kompaktní zářivky jako zmenšená alternativa lineárních zářivek.



Obr. 9.6: Složení kompaktní zářivky s implementovaným elektronickým předřadníkem

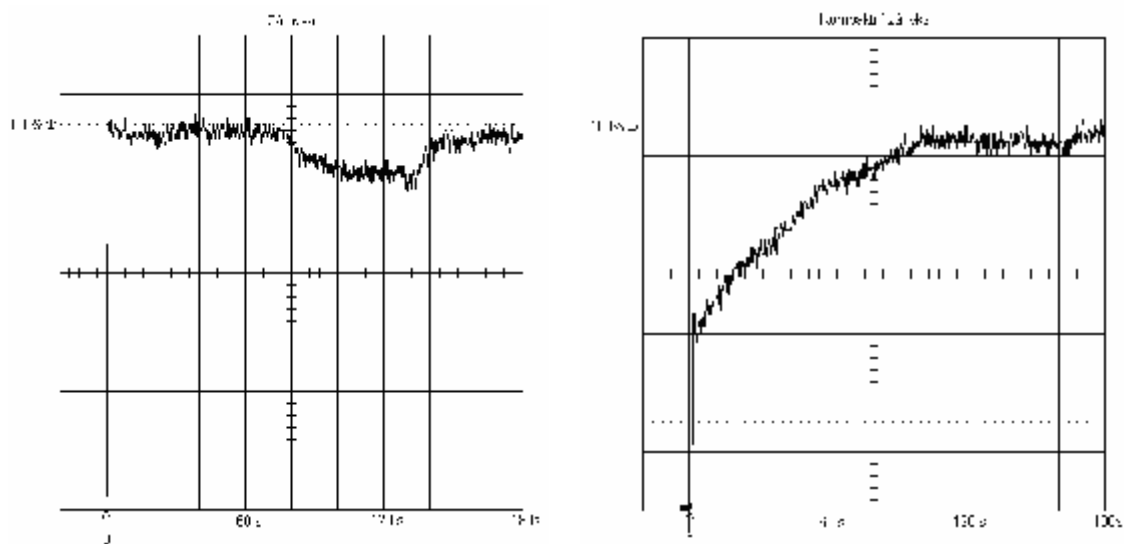
Provoz s kompaktních zářivek s elektronickým předřadníkem zabezpečuje vysoký komfort:

- okamžitý start bez blikání
- vysoká odolnost proti častému spínání
- delší doba života
- odstranění stroboskopického efektu a kmitání světelného toku
-



Obr. 9.7: Kompaktní zářivka bez předřadníku určená pro provoz ve zvlášť malých svítidlech

Výraznou nevýhodou kompaktních zářivek v porovnání s žárovkami, je rychlost jejich startu viz. *Obr. 9.8*. Zatímco žárovky nabíhají na jmenovitý světelný tok téměř okamžitě, kompaktní zářivky po připojení napájecího napětí naběhnou pouze na cca 50 % světelného toku. To ukazuje na nevhodnost použití kompaktních zářivek v prostorech ve kterých je nutné dosáhnout okamžitě 100 % světelného toku (např. sociální zařízení).

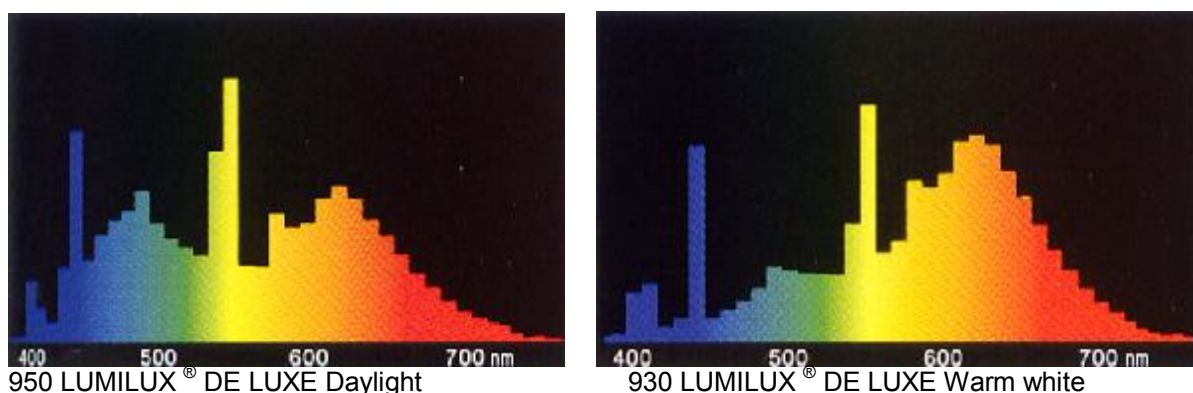


Obr. 9.8: Náběhová charakteristika žárovky a kompaktní zářivky

V oblasti kompaktních zářivek jsou trendy vývoje následující:

- Dominantou se stává 3/8“ technologie.
- hledají se řešení pro tvarované kompaktní zářivky, kompaktní zářivky s reflektorem či difuzorem
- konstruují se kompaktní zářivky s velkým příkonem (v současnosti např. 200 W s integrovaným předřadníkem). Umožňuje to miniaturizaci svítidel a nasazování kompaktních zářivek i do aplikací, ve kterých se doposud používaly výbojky.

Díky velkým možnostem při výrobě luminoforů můžeme volit barvu světla kompaktních zářivek dle potřeby. Je velká výhoda při nasazování kompaktních zářivek v různých typech prostorů. Na Obr. 9.9 je pro přiblížení znázorněn příklad spektra kompaktní zářivky s denním světlem o náhradní teplotě chromatičnosti 5000 K a indexem podání barev 90 a kompaktní zářivky s teple bílým světlem s náhradní teplotou chromatičnosti 3000 K a indexem podání barev 90. Důležité je upozornit na fakt, že všechny výbojové zdroje mají čárové spektrum vyzařování ve srovnání se spojitým spektrem vyzařování teplotních zdrojů viz. Obr. 9.3. Na Obr. 9.9 je viditelný výrazný rozdíl ve spektru obou výše zmiňovaných kompaktních zářivkou s denní barvou světla má výrazně vyšší podíl vyzařování v nižších vlnových délkách okolo modré barvy, zatímco teple bílá barva světla kompaktní zářivky vyzařuje převážně v oblasti vyšších vlnových délek tedy v oblasti žluté až červené.

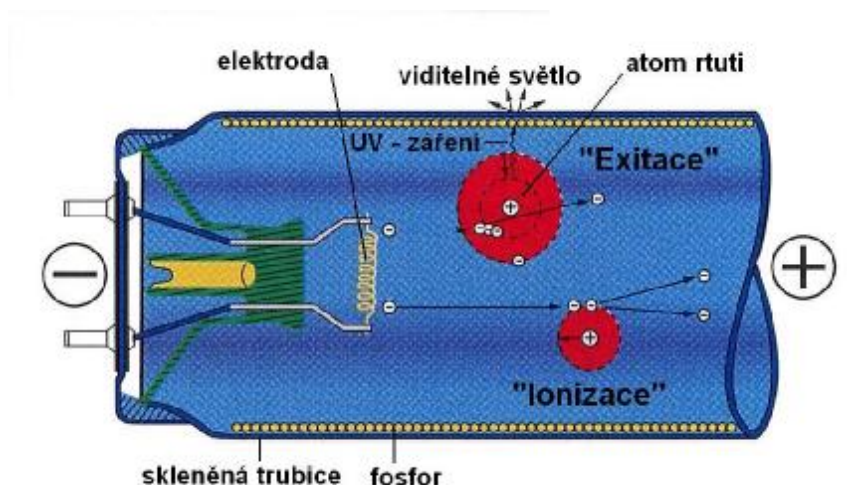


Obr. 9.9: Spektrální záření kompaktních zářivek

9.7. Lineární zářivky

Lineární zářivky vyrábějí okolo 70 % umělého světla na celém světě. Jsou velice výhodné zejména z ekonomického hlediska, protože se vyznačují vysokým měrným výkonem. Zářivka spotřebuje jen přibližně pětinu elektrického proudu než žárovka.

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



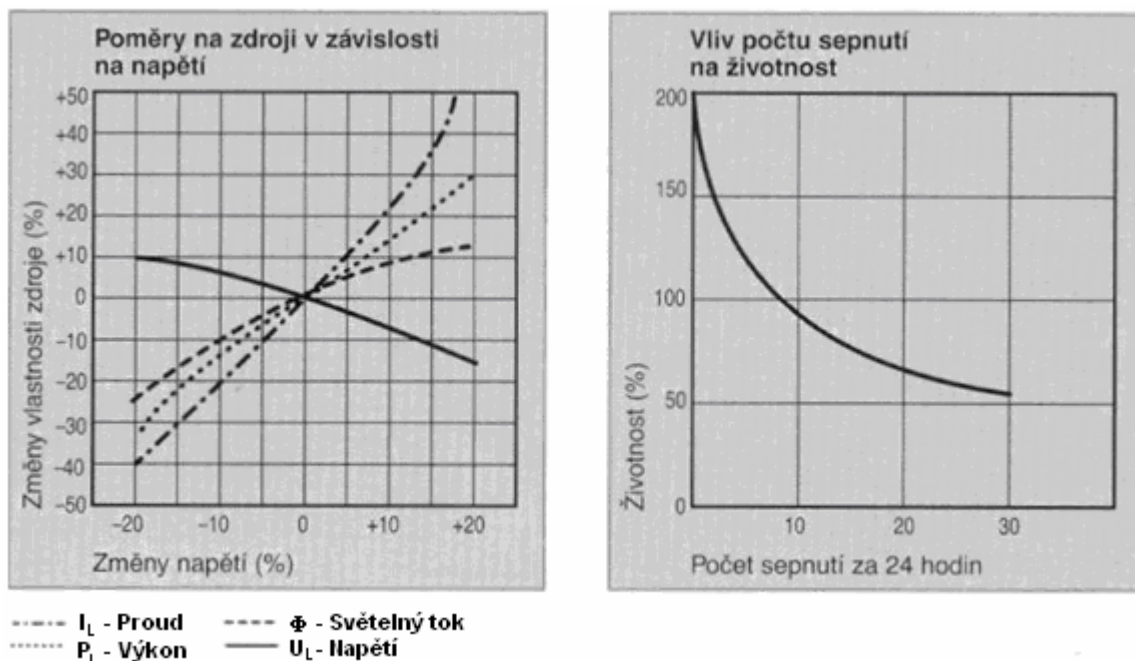
Obr. 9.10: Princip funkce zářivek

Jako všechny výbojky se ani zářivky neobejdou bez předřadných přístrojů. Po zapálení startérem je napětí na zářivce nižší než napájecí napětí. Tlumivka převezme rozdíl napětí a omezí proud tak, aby zářivka dostávala pro svůj provoz správnou hodnotu proudu. Zářivky lze také provozovat s elektronickými předřadníky. Moderní plně elektronické vysokofrekvenční předřadníky nahrazují tlumivky a startéry a přispívají tak k větší hospodárnosti, vyšší světelné komfortu a delší době života zářivek.

Nové typy zářivek T5 mají průměr trubice jen 16 mm, jsou o 50 mm kratší než standardní trubice T8 s průměrem 26 mm. Nabízejí vyšší měrný světelný výkon až $106 \text{ lm} \cdot \text{W}^{-1}$ a jsou určeny pouze pro provoz s elektronickými předřadníky. Zářivky T5 dosahují úspor oproti zářivkám T8 v následujících oblastech:

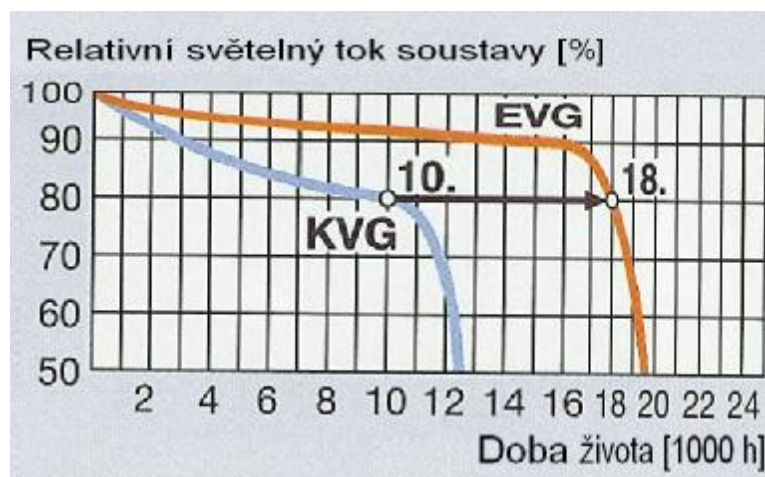
- vyšší měrný výkon zářivek T5
- vyšší účinnosti svítidel vlivem nižšího odstínění o 40 % štíhlejší zářivky
- úsporným provozem s elektronickým předřadníkem
- se systémem T5 je možné konstruovat štíhlejší svítidla s čehož plynou další materiálové úspory.

Doba života zářivek je silně ovlivněna počtem zapnutí. Nehodí se proto tam, kde dochází k častému zapínání a vypínání. Provozní vlastnosti zářivek provozovaných s klasickou tlumivkou jsou znázorněny na Obr. 9.11.



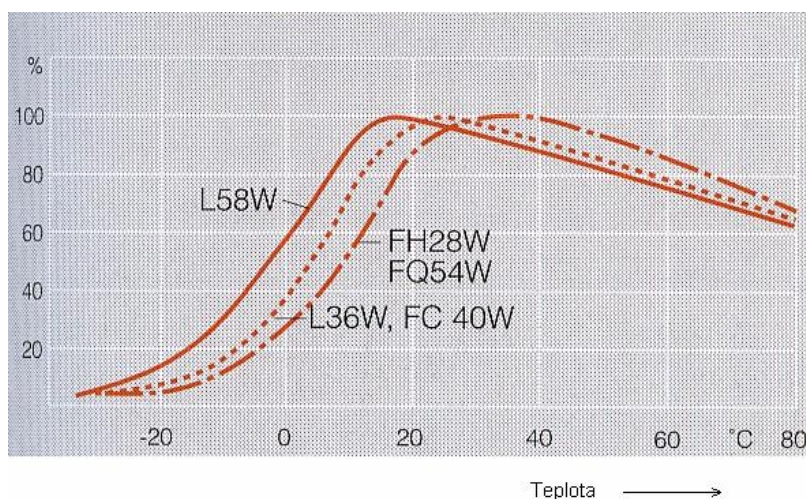
Obr. 11: Provozní charakteristiky zářivek konvenčním předřadníkem

Podle způsobu provozu viz. obr. 9.12 se mění i doba života zářivky. Při provozu s klasickým předřadníkem se doba života zářivky pohybuje okolo 10 000 h zatímco při provozu s elektronickým předřadníkem se pohybuje okolo 18 000h.



Obr. 9.12: Doba života zářivek

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 viz. Obr. 9.13 a proto se nehodí pro osvětlování venkovních prostorů, ve kterých dochází k poklesům teplot do oblasti bodu mrazu a níže.



Obr. 9.13: Teplotní závislost zářivek OSRAM na účinnosti zdrojů

Také v oblasti zářivek je možné pozorovat výrazné trendy směřující ke zlepšení vlastností těchto světelných zdrojů. Jde především o další snižování množství rtuti a dokonce o vývoj bezrtuťových technologií. Samozřejmostí posledních let je pokrok v programu T5 – zářivek s průměrem 16 mm. Vývoj směřuje také do oblasti nových typů luminoforů. Hledají se cesty na řešení luminoforů s fotonovou prazeodymovou kaskádou. Cílem je lepší využití záření výboje pro vznik světla. Zajímavou oblastí je také vývoj nízkotlakých výbojových světelných zdrojů s proměnlivou barvou světla. Zkoumají se bezelektrodové technologie, které vyústily do vývoje indukčních výbojek. V posledním období je možné pozorovat významný nárůst životnosti zářivek (až do 50 000 h), dosaženy odlišnou konstrukcí elektrod a ochranou vrstvou na baňce a luminoforu. Významné jsou také postoje k barvě světla zářivek pro zrakově nejnáročnější pracoviště. Očekává se optimalizace náhradní teploty chromatičnosti světelných zdrojů pro zrakově náročné práce v oblasti nad 6000 K.

9.8. Halogenidové výbojky

Použití moderních halogenidových výbojek pro osvětlování bytů kanceláří a škol je v současné době spíše hudbou budoucnosti. I přes probíhající miniaturizaci, ustalování barevných parametrů během doby života a zvyšování indexu podání barev stále disponují nevýhodami, které zabraňují jejich masivnímu nasazování v těchto prostorech:

- nemožnost stmívání
- relativně vysoké pořizovací náklady na osvětlovací soustavy
- nemožnost okamžitého znovu zápalu u teplých výbojek
- pomalý náběh na 100 % světelný tok (cca 10 min)
- nižší doba života než u zářivek



Obr. 9.13 Moderní typ halogenidové výbojky

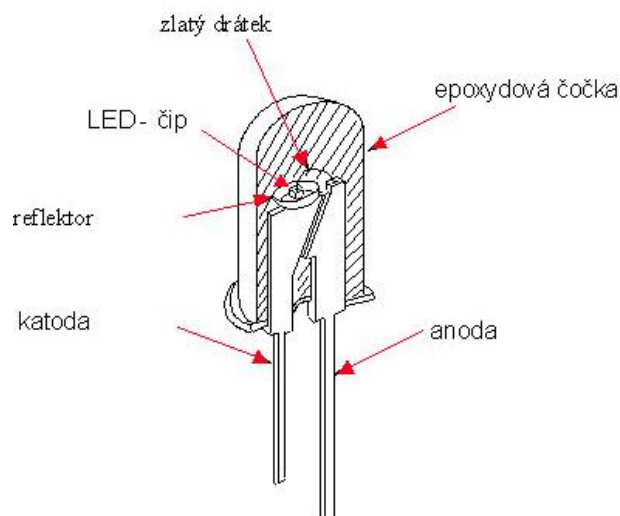
Halogenidové výbojky jsou vysokotlaké rtuťové výbojky, u nichž vzniká viditelné záření nejen v parách rtuti, ale také převážně zářením produktů vzniklých při štěpení halogenidů. Pro provoz halogenidových výbojek je nutné, stejně jako u zářivek) použití předřadných přístrojů, tzn. tlumivek a zapalovačů.

Halogenidové výbojky představují moderní světelný zdroj, který prochází v současnosti etapou bouřlivého vývoje. Keramický hořák jako všeobecné řešení je samozřejmostí. Používají se nové kulové tvary keramických hořáků, umožňující významný nárůst životnosti těchto světelných zdrojů. V posledním období zaznamenáváme dávkování sodíku do hořáku halogenidové výbojky. Jde o sbližování vlastností sodíkových a halogenidových výbojek. Je možné, že za několik roků nebudeme rozlišovat mezi těmito dvěma druhy výbojek. Aplikují se nové plynové náplně. Charakteristickou je také miniaturizace příkonů halogenidových výbojek (v současnosti 20W). Čím dál tím víc se prosazuje jejich nasazování v interiérech.

9.9. LED diody

Hitem posledních let jsou jejich LED diody. Poslední dobou jsme v této oblasti zaznamenali enormní nárůst měrného výkonu. Na trhu jsou k dispozici vysokovýkonné modré a bílé LED. Vzhledem k fyzikálnímu principu tohoto světelného zdroje se předpokládají široké možnosti volby spektrálního složení záření a jeho plynulá změna během provozu. Vývoj pokračuje směrem k organickým LED diodám. V současnosti mohou mít LED diody libovolnou barvu světla. Pokud se podaří aplikovat poznatky z LED diod do klasických luminoforů, dá se předpokládat významný nárůst měrného výkonu zářivek a možná také žárovek.

V posledních letech se stále více v nejrůznějších světelně technických aplikacích prosazují svítící diody (LED- Light Emitting Diode). Luminiscenční dioda se dříve využívala v elektrotechnice k indikaci provozních stavů, jako výkonný světelný zdroj se začala využívat v posledním desetiletí. LED dioda je elektronický prvek, který generuje světelné záření při průchodu proudu polovodičovým přechodem. Tento polovodičový přechod generuje velmi úzké spektrum to znamená, že záření je v podstatě monochromatické. Konstrukce LED diody je uvedena na *Obr. 9.14*.



Obr. 9.14 Příklad konstrukce LED diody

Bílé světlo lze získat například složením tří čipů různých barev (červená, zelená a modrá) a z nich namíchat bílou barvu. Další způsob jak dosáhnout bílé barvy je použití modrého čipu, který má vrstvu aktivní hmoty. Tato vrstva převede modré záření na jiné vlnové délky viditelného spektra.

Doba života dosahuje u barevných LED diod až 100 000 hodin a u bílých LED diod 50 000 hodin, přičemž v průběhu této doby intenzita světla mírně klesá. V zařízeních s LED diodami se tedy nepočítá s výměnami světelných zdrojů.

K význačným přednostem LED diod patří:

- minimální spotřeba elektrické energie,
- velmi malé rozměry (jedná se prakticky o bodové zdroje),
- malá závislost parametrů na teplotě okolí,
- poměrně dobrá účinnost (kolem $10 \text{ lm} \cdot \text{W}^{-1}$ v závislosti na barvě) převyšující účinnost trpasličích žárovek,
- široký sortiment výrazných (sytých) barev,
- malé napájecí napětí,
- nízká povrchová teplota,
- možnost dosáhnout velké směrové svítivosti použitím vhodné čočky,
- malá závislost na teplotě okolí atd.

V poslední době se již na trhu objevují konstrukce, v nichž jsou svítivé diody zabudovány do baňky normální žárovky tzv. LED žárovky viz. *Obr. 9.15*. V jejich patici se nachází nezbytná elektronika k úpravě napájecího napětí, k ochraně proti statické energii a napětovým špičkám. Tento světelný zdroj pracuje při stejnosměrném i střídavém napětí. Rozhodně se jedná o velmi perspektivní světelný zdroj se všemi výhodami LED a s vhodným použitím v řadě oblastí. Pro domácnosti, kanceláře a školní prostory mají LED diody uplatnění zejména ve stolních lampách, dekorativním osvětlení interiéru, osvětlení chodeb a orientačním osvětlení.



Obr. 9.15: Z LED diody sestavují světelné zdroje jako analogie ke klasickým typům

Využití svítících LED diod ve všeobecném osvětlování s největší pravděpodobností velmi významně ovlivní konstrukci svítidel. Použití reflektorů pro úpravu rozložení světelného toku svítidel ztratí význam, neboť u svítících LED diod je světelný tok již usměrněn. Způsob vyzařování bude možné ovlivnit použitými typy svítících diod, jejich polohou a nasměrováním. Použití čoček a refraktorů v optických systémech svou funkci pravděpodobně neztratí, naopak možná bude mít větší využití než u svítidel pro běžné světelné zdroje. Využití svítících diod umožní nejen měnit intenzitu osvětlení, teplotu chromatičnosti a barvu světla, ale teoreticky bude možné měnit i vyzařovací charakteristiky, spínáním diod rozdělených do různých skupin. Vzhledem k tomu, že svítící diody pracují na malém napětí bude poměrně snadné jejich použití v kombinaci s akumulátorovými články, například v systémech nouzového světlení nebo se systémem fotovoltaických článků.

Literatura:

- [9.1] Plch J.: Světelná technika v praxi, Praha, 1999.
- [9.2] Habel J.: Světelná technika a osvětlování, FCC Public, 1995.
- [9.3] Kol. autorů: Osvětlování vnitřních prostorů, SEVEN, Praha, 2002.
- [9.4] Sokanský K.: Inteligentní řízení osvětlovacích soustav vnitřního osvětlení, Publikace ČEA, Ostrava 2004.
- [9.5] Smola A.: Svetelné zdroje a svietidlá pre moderné osvetľovacie sústavy, Kurz osvetľovacie techniky XXIII., VŠB – TU Ostrava, 2004.
- [9.6] Novák T.: Ovlivňování osvětlovacích soustav napájecí sítí, Disertační práce, Ostrava 2003.
- [9.7] INGE Opava firemní katalog, www.inge.cz.
- [9.8] OSRAM firemní katalog, www.osram.com.
- [9.9] PHILIPS firemní katalog, www.philips.cz.

10.SVÍTIDLA

Svítidla jsou přístroje, které tvoří základní prvky osvětlovacích soustav. Skládají se z světelně činných částí a konstrukčních částí.

Světelně činné části svítidel slouží k:

- změně rozložení, usměrnění nebo rozptýlení světelného toku svítidla,
- omezení oslnění - omezení jasu svítidla v úhlu, pod kterým může být svítidlo vnímáno pozorovatelem,
- filtraci – je schopen měnit spektrum vyzařované světelným zdrojem.

Konstrukční části svítidla slouží k upevnění zdroje, k upevnění světelně činných částí, ke krytí zdrojů i světelně činných částí před vniknutím cizích předmětů a vody, musí vyhovovat z hlediska ochrany před nebezpečným dotykovým napětím. Svítidla musí splňovat podmínky jednoduché a snadné montáže, jednoduché údržby, dlouhého života a spolehlivosti. Kromě svítidel se ve světelné technice používají světlomety, které se od svítidel liší tím, že vyzařují směrově soustředěný svazek paprsků a používají se k osvětlování z velkých vzdáleností.

10.1. Světelně technické parametry svítidel

10.1.1. Světelný tok svítidla

Světelný tok svítidla Φ_{SV} , který je svítidlem opticky upraven, je dán rozdílem světelného toku všech zdrojů Φ_Z umístěných ve svítidle a světelného toku ztraceného Φ_{ZTR} , který se ztratil při optickém zpracování. Rozdělení svítidel podle rozložení jejich světelného toku je znázorněno v *Tab. 10.1*.

10.1.2. Účinnost svítidla

Účinnost svítidla charakterizuje hospodárnost svítidla a její hodnota je dána poměrem svět. toku svítidla ke svět. toku zdrojů dle vztahu:

$$\eta_{SV} = \frac{\Phi_{SV}}{\Phi_Z} \quad [-; \text{lm}, \text{lm}] \quad (10.1)$$

Φ_{SV} ... světelný tok svítidla

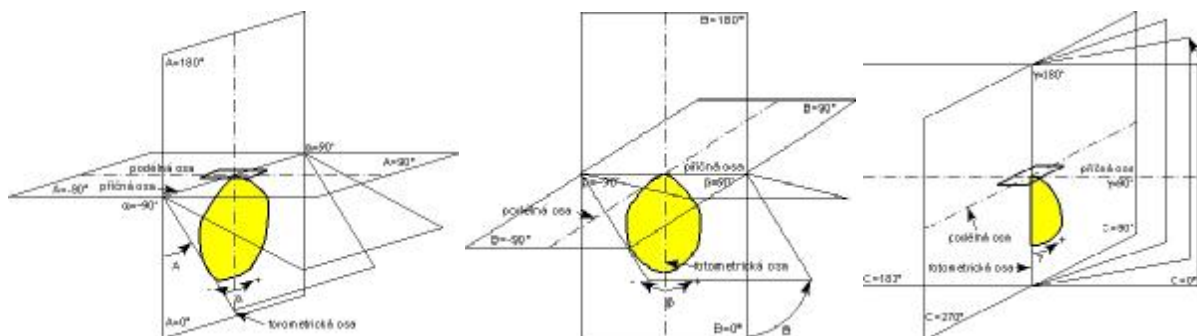
Φ_Z ... světelný tok všech zdrojů světla ve svítidle

Maximální účinnost by měl z tohoto hlediska holý světelný zdroj v objímce. Ten však není možné použít s ohledem na oslnění, nevhodné směřování vyzařovaného světelného toku a nedostatečnou ochranu ve většině případů před povětrnostními vlivy. Z hlediska maximálního využití dodávané elektrické energie je třeba dosahovat vysokých hodnot této veličiny. U běžných svítidel se pohybuje účinnost v rozmezí od 0,3 do 0,9.

10.1.3. Křivky svítivosti svítidel

Prostorové rozložení svítivosti svítidel sou souměrné anebo nesouměrné. Souměrné rozložení může být rotační anebo souměrné k jedné anebo více axiálním rovinám.

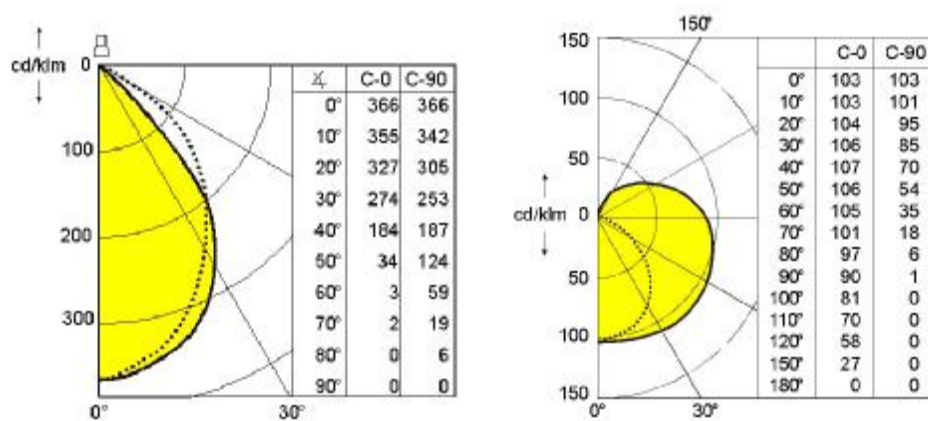
Svítivosti se udávají nejčastěji pomocí fotometrického systému C- γ . U svítidel s rotačně symetrickou křivkou svítivosti postačí měřit a zobrazovat křivku v jedné fotometrické rovině. Rozložení svítivosti svítidel lze též znázorňovat pomocí izokandelového diagramu.



Obr. 10.1: Křivky svítivosti ve fotometrických systémech A- α , B- β , C- γ

Pro vystižení tvaru čáry svítivosti svítidla se používá činitel tvaru křivky K_F a úhlové pásmo maximální svítivosti. Činitel tvaru křivky je dán poměrem maximální svítivosti $I_{\max}$ a střední svítivosti $I_{\text{stř}}$ dle vztahu:

$$K_F = \frac{I_{\max}}{I_{\text{stř}}} \quad [-; \text{cd}, \text{cd}] \quad (10.2)$$



Obr. 10.2 Příklady křivek svítivosti

Rozdělení svítidel podle tvaru křivky svítivosti je uvedeno v Tab. 10.2.

1.1.1 Jas svítidel

Jas svítidla je definován jako podíl svítivosti v daném směru a velikosti průměru svítící plochy do roviny kolmé k uvažovanému směru viz vztah 10.3.

$$L_{\gamma} = \frac{I_{\gamma}}{A \cdot \cos \gamma} \quad [\text{cd} \cdot \text{m}^{-2}; \text{cd}, \text{m}^2] \quad (10.3)$$

I_{γ} ... je svítivost svazku světelných paprsků (svítící plochy)

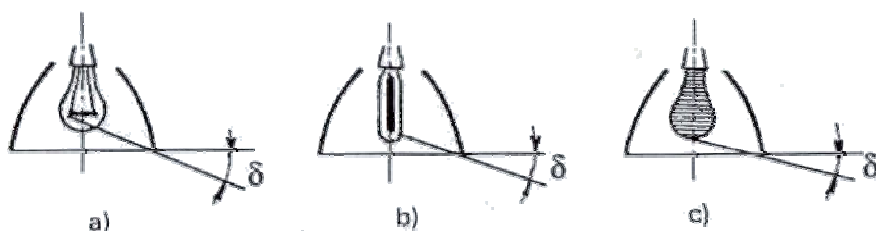
A ... je velikost svítící plochy viditelné pozorovatelem

γ ... je velikost svítící plochy viditelné pozorovatelem

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

10.1.4. Úhel clonění

Patří sem především úhel clonění δ , který 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.



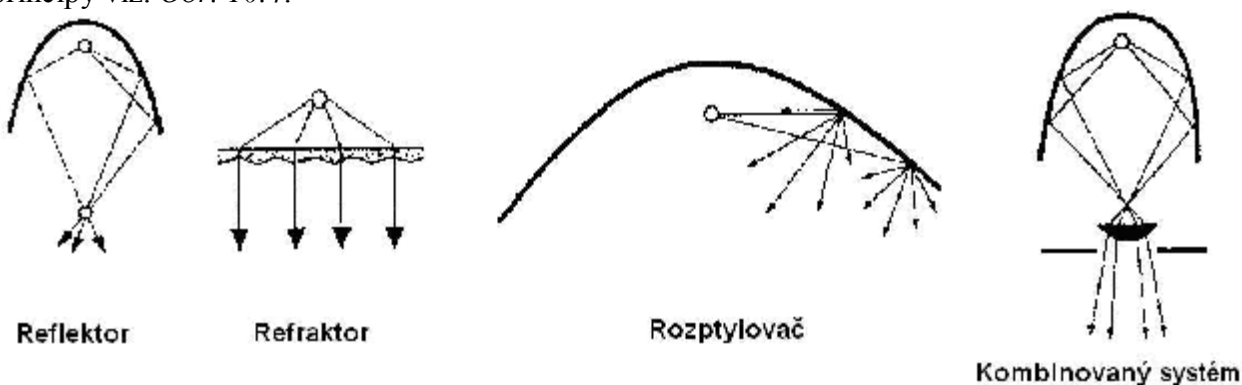
- žárovkové
- výbojkové s čirou baňkou
- výbojkové opatřené luminoforem nebo s opálovou žárovkou

Obr. 10.3: Úhel clonění u svítidla.

Doplňkový úhel do 90° k úhlu clonění se nazývá úhel otevření svítidla.

10.2. Základní principy usměrnění světelného toku

U většiny svítidel se k usměrnění světelného toku světelných zdrojů používají následující principy viz. Obr. 10.4.



Obr. 10.4: Základní typy světelně aktivních ploch

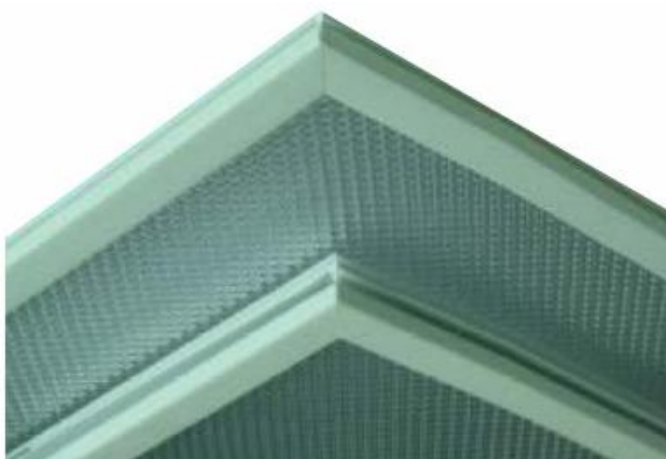
10.2.1. Reflektory

Reflektory se používají k usměrnění světelného toku zrcadlového odrazu. Převážně se k těmto účelům používá vysoce čistý hliník (99,8%) s povrchovou úpravou zaručující odraznost až 95%.

Pro konstrukci reflektorů se hojně využívá i tzv. „kladívkovaných“ materiálů s různými velikostmi ok. Tyto materiály na rozdíl od hladkých materiálů se používají tam, kde není potřeba vysoké přesnosti při výrobě reflektorů při zachování vysoké odraznosti reflektoru.

10.2.2. Refraktory

Zde se neusměrňuje světelný tok pomocí odrazných vlastností použitých materiálů, nýbrž díky jejich propustným vlastnostím.



Obr. 10.5: Příklad použití refraktoru

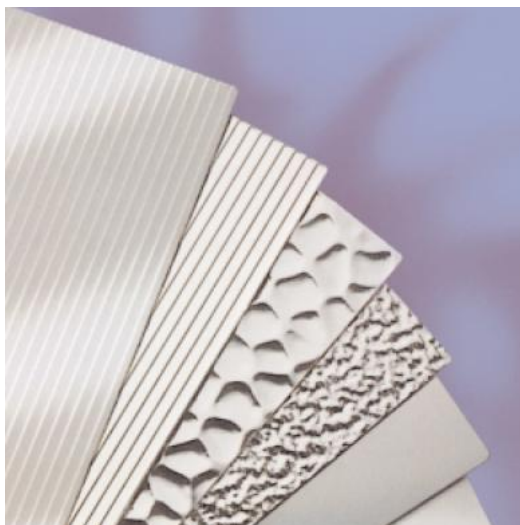
Jejich konstrukce je zaměřena na usměrnění světelného toku na principu lomu světla tak, aby byla dosažena požadovaná křivka svítivosti.

Z nejpoužívanějších materiálů je nutné zmínit PMMA (polymetalakrilát), které má sice vysokou propustnost ovšem ne zcela vyhovující mechanické vlastnosti. Z tohoto důvodu se nejčastěji používá PC (polykarbonát) jehož propustné vlastnosti jsou o cca 10% horší, ale mechanické vlastnosti pro konstrukci svítidel jsou mnohem příznivější. Propustnost těchto materiálů však závisí na jejich tloušťce a nelze ji korektně vyčíslit.

10.2.3. Rozptylovače

Využívají k usměrnění světelného toku difusního odrazu. Stejně jako u zrcadlového odrazu se k těmto účelům používá vysoce čistý hliník (99,8%) ovšem s povrchovou úpravou vytvářející difusní odraz.

Za materiály s difuzním odrazem se považují ty, které odrážejí 60 - 90% dopadajícího světelného toku. Nejlepší materiály s difuzním odrazem dosahují podobně jako materiály se zrcadlovým odrazem vysokou celkovou odraznost až 94%.



Obr. 10.6: Používané materiály pro reflektory a rozptylovače

10.2.4. Kombinované systémy

Kombinované systémy využívají k usměrňování světelného toku reflektory, rozptylovače i refraktory dle potřeb směřování toku



Obr. 10.7: Příklad svítidla s kombinovaným systémem aktivních ploch

Na základě výše uvedených principů směřování světla musíme podotknout, že každým odrazem nebo průchodem světelného toku nějakou z aktivních ploch **ztrácí svítidlo na své účinnosti**.

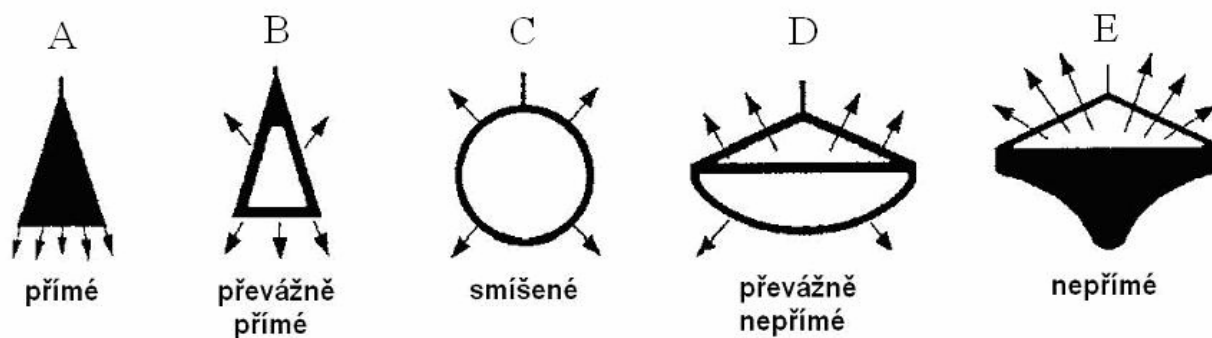
10.3. Třídění svítidel

Svítidla je možné rozdělit do skupin podle jejich vlastností, přičemž lze volit různá kritéria. Podle použitého světelného zdroje rozeznáváme svítidla žárovková, zářivková, výbojková, popř. i jiná. Podle oblasti použití je možné rozlišit svítidla vnitřní a venkovní.

Podstatou třídění svítidel jsou světelně technické vlastnosti. Nejjednodušší světelně technické třídění svítidel je třídění podle CIE, založené na prostorovém rozložení světelného toku do horního a dolního poloprostoru. Podrobně je uvedeno v Tab. 2.5.

Tab. 10.1: Rozdělení svítidel podle rozložení jejich světelného toku

Označení svítidla	Světelný tok do dolního poloprostoru (%)	Světelný tok do horního poloprostoru (%)	Značení podle DIN 5040
přímé	90 až 100	0 až 10	A
převážně přímé	60 až 90	10 až 40	B
smíšené	40 až 60	40 až 60	C
převážně nepřímé	10 až 40	60 až 90	D
nepřímé	0 až 10	90 až 100	E



Obr. 10.8: Rozdělení svítidel podle rozložení jejich světelného toku

Pro rozdělení svítidel podle tvaru křivky svítivosti se v praxi používá několik způsobů. Například třídění podle tzv. BZ - klasifikace svítidel. Svítidla jsou rozdělena podle tvaru křivek svítivosti do 10 tříd, jak je zřejmé z Tab. 10.2.

Tab. 10.2: BZ - klasifikace svítidel

Označení	Tvar křivky svítivosti
BZ 1	$I_{\gamma} = I_0 \cos^4 \gamma$
BZ 2	$I_{\gamma} = I_0 \cos^3 \gamma$
BZ 3	$I_{\gamma} = I_0 \cos^2 \gamma$
BZ 4	$I_{\gamma} = I_0 \cos^{1,5} \gamma$
BZ 5	$I_{\gamma} = I_0 \cos \gamma$
BZ 6	$I_{\gamma} = I_0 (1 + 2 \cos \gamma)$
BZ 7	$I_{\gamma} = I_0 (2 + \cos \gamma)$
BZ 8	$I_{\gamma} = \text{konst.}$
BZ 9	$I_{\gamma} = I_0 (1 + \sin \gamma)$
BZ 10	$I_{\gamma} = I_0 \sin \gamma$

Toto třídění do jisté míry odpovídá i způsobu podle dřívějších čs. norem. Jde o zařazení svítidel podle tabulky do 7 typů, přičemž je dáno úhlové pásmo, v němž může ležet maximum svítivosti, a pro každý typ též činitel tvaru křivky svítivosti.

Tab. 10.3: Rozdělení svítidel podle tvaru křivky svítivosti

Tvar křivky svítivosti		Úhlové pásmo maximální svítivosti [°]	Činitel tvaru křivky svítivosti
označení	název		
a	koncentrovaná	0 až 15	$K_F \geq 3$
b	hluboká	0 až 30, 150 až 180	$2 \leq K_F < 3$
c	kosinusová	0 až 35, 145 až 180	$1,3 \leq K_F < 2$
d	pološiroká	35 až 55, 125 až 145	$1,3 \leq K_F$
e	široká	55 až 85, 95 až 125	$1,3 \leq K_F$
f	rovnoměrná	0 až 180	$K_F \leq 1,3$, přičemž $I_{\min} > 0,7 I_{\max}$
g	sinusová	70 až 90, 90 až 110	$1,3 < K_F$, přičemž $I_{\min} < 0,7 I_{\max}$

Rozdělení svítidel podle elektrotechnických vlastností odpovídá elektrotechnickým předpisům. Podle ochrany před nebezpečným dotykovým napětím tak lze v souladu s ČSN 34 1010 a 36 0000-1 rozlišit svítidla třídy 0, I, II a III.

- Třída 0 má pouze základní izolaci, to znamená, že nemá prostředky na připojení ochranného vodiče.
- Třída I znamená, že svítidlo má prostředek pro připojení vodivých částí na ochranný vodič.
- Třída II obsahuje jako ochranu před nebezpečným dotykem dvojitou nebo zesílenou izolaci.
- Třída III označuje svítidla na bezpečné napětí.

Svítidla musí být konstruována tak, aby jejich živé části nebyly přístupné, je-li svítidlo instalováno a připojeno pro normální používání, ani když je svítidlo otevřené za účelem výměny světelných zdrojů nebo předřadníků. Ochrana před úrazem elektrickým proudem musí být zachována při všech způsobech montáže a polohách svítidla.

Pro krytí svítidel platí ČSN EN 60 529 (33 0330), podle níž se druh krytí svítidla označuje zkratkou IP (International Protection) a dvojčíslicí. První číslice (od 0 do 6) vyjadřuje ochranu před nebezpečným dotykem živých nebo pohybujících se částí a před vniknutím cizích předmětů, druhá (od 0 do 8) ochranu před vniknutím vody. Nejmenší krytí svítidel na nízké napětí je IP 20. Pro venkovní prostředí je třeba krytí před deštěm, tedy alespoň IP 23. Krytí IP 54 je běžné krytí svítidel proti stříkající vodě. Konstrukčně obdobně jsou tvořena svítidla s krytím IP 65, která však mají mnohem vyšší užitnou hodnotu. Vyšší ochrana proti vniknutí prachu a vody znamená prodloužení života optického systému svítidla a snížení nákladů na jeho údržbu (čištění).

Tab. 10.4: Význam číslic pro krytí svítidel - kód IP

První číslice	Stupeň ochrany před nebezpečným dotykem a vniknutím cizích předmětů	Druhá číslice	Stupeň ochrany před vniknutím vody
0	bez ochrany	0	bez ochrany
1	před vniknutím pevných těles větších než 500 mm (hřbetu ruky)	1	před svisle kapající vodou
2	před vniknutím pevných těles větších než 12,5 mm (prstu)	2	před kapající vodou při sklonu 15°
3	před vniknutím pevných těles větších než 2,5 mm (jemného nástroje)	3	před dopadající vodou při sklonu 60° (déšť)
4	před vniknutím těles větších než 1 mm (drátu)	4	před stříkající vodou (z libovolného směru)
5	před prachem (částečně, prach však nemůže narušit funkce svítidla)	5	před tryskající vodou (tj. tlakovou vodou)
6	úplně před prachem	6	před intenzivně stříkající vodou
		7	při dočasném ponoření (při určeném tlaku a čase)
		8	při trvalém ponoření

Použití svítidel do určitého prostředí je dáno hlavně normou ČSN 333310. Zvláštní kategorii tvoří svítidla v nevýbušném provedení, která se mohou používat v prostorech s nebezpečím výbuchu, např. v dolech.

Podle požární bezpečnosti se svítidla dělí na ta, která jsou určena pro bezprostřední montáž na hořlavý materiál a svítidla pro montáž na nehořlavý materiál.

10.4. Konstrukční prvky svítidel

Konstrukční prvky a materiály, používané pro všechny druhy svítidel, mají kromě svých vlastních funkcí splňovat ještě další požadavky.

Další požadavky na svítidla:

- světelná stálost
- tepelná stálost
- odolnost proti korozi
- mechanická pevnost

Světelná stálost je důležitou veličinou, která určuje u mnoha materiálů jejich životnost. Stálým působením světelného a ultrafialového záření, zesíleného teplem a vlhkostí, dochází k trvalým změnám, např. žloutnutí, vybělení, zkrěhnutí, tvoření trhlin nebo praskání.

Tepelná stálost konstrukčních prvků má zvláštní význam, protože provozní teploty na svítidle dosahují často hodnot na hranicích přípustnosti. Pokud jsou tyto hodnoty překročeny, dochází k trvalým změnám, např. k deformaci, zkrěhnutí, zuhelnění a praskání - tvoření trhlin.

Odolnost kovů proti korozi musí být zajištěna účelnou povrchovou ochranou, která mimo to ovlivní ještě vzhled a světelně technické vlastnosti materiálu. Aby bylo vyhověno přípustným podmínkám použití, požadovaným světelnotechnickým 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.

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.

Konstrukční prvky se dělí na tři skupiny - prvky (části):

- světelnotechnické (světelně činné)
- elektrotechnické
- mechanické

K používaným odrazovým materiálům světelně činných částí se používají:

- skleněná zrcadla,
- lakované povrchové plochy,
- opálová světlo rozptylující skla,
- plasty nebo tkaniny.



Obr. 10.9: Příklad světelně činné části svítidel pro vnitřní prostory

Jako propustné materiály světelně činných částí se používají:

- křemenné sklo (čiré sklo, ornamentní sklo, opálové sklo, matované sklo, refraktorové sklo),
- světlo - propouštějící plasty,
- světlo - propouštějící tkaniny.

Elektrotechnické části svítidel slouží k připojení, upevnění a provozu světelných zdrojů a svítidel. Patří sem: objímky žárovek, vypínače, zásuvky a vidlice, vnitřní vedení vodiče, vnější vedení, připojovací a propojovací svorky, svítidlová krabice, předřadné přístroje, zapalovač, kondenzátory. Jednotlivé části musí odpovídat použitým světelným zdrojům. Použitím jiných světelných zdrojů se mění i připojovací podmínky.

Mechanické části svítidel slouží jako ochranné nebo nosné části světelných zdrojů a světelně technických a elektrotechnických konstrukčních prvků. Podstatné konstrukční díly svítidel, které se počítají k mechanickým konstrukčním prvkům, jsou: Ochranná skla, ochranná mříž, nosná konstrukce, zaostřovací zařízení, závěsy, upevňovací části, vidlice, klouby a stojany pro svítidla pro místní osvětlení. Protože jednotlivé díly mají velmi rozdílný význam a jsou různě zatíženy, najdou zde použití různé materiály. Svítidla musí mít potřebnou mechanickou pevnost a musí být odolná vůči korozi, vyhovět předepsaným oteplovacím zkouškám a být elektromagneticky slučitelná.

10.5. Vývojové trendy v oblasti svítidel**Základní trendy:**

- nové materiály,
- nová koncepce vedení a rozdělování světelného toku,
- elektronické předřadníky,
- vyšší krytí svítidel,
- nový design svítidel,
- v bytových prostorech nástup svítidel s halogenidovou výbojkou,
- první svítidla pro LED diody ,
- nástup nových materiálů, tenkých vrstev, selektivních povrchů,
- aplikace mikroelektroniky ve svítidlech,
- použití skla a tenkých vrstev,
- hliník jako materiál pro reflektory,
- hliníkové slitiny pro nosné konstrukce,
- nové principy, např. „mřížková“ svítidla bez mřížky,
- specializace svítidel podle oblasti použití např. automobilový průmysl,
- modulárnost svítidel,
- plynulá změna barvy světla.

Vývoj směřuje k:

- k použití materiálů s delší životností,
- antivandalskému provedení,
- systémům zabezpečující jednoduchou montáž a demontáž,

- jednoduché údržbě,
- použití nových světelných zdrojů (LED),
- elektronizaci předřadníků,
- vyšším stupňům krytí.

Úspor elektrické energie lze dosáhnout:

- optimalizací světelně činných částí svítidel
- aplikací kvalitního vstupního materiálu spolu s moderní technologií zpracování
- použitím světelných zdrojů s vyššími hodnotami měrných výkonů
- aplikací klasických předřadníků z výkonové skupiny B
- aplikací elektronických předřadníků
- řízením osvětlovacích soustav se skokovou nebo plynulou regulací
- aplikací centrálních řídicích osvětlovacích systémů

Literatura:

- [10.1] *Plch J.:* Světelná technika v praxi, Praha, 1999.
- [10.2] *Sokanský K.:* Inteligentní řízení osvětlovacích soustav vnitřního osvětlení, Publikace ČEA, Ostrava 2004.
- [10.3] INGE Opava firemní katalog, www.inge.cz
- [10.4] ALANOD firemní katalog, www.alanod.com
- [10.5] MASSIVE firemní katalog, www.massive.cz
- [10.6] S.L.P UK Limited firemní katalog, www.slpuk.com

11. PŘEDŘADNÉ PŘÍSTROJE PRO SVĚTELNÉ ZDROJE V INTERIÉRECH

11.1. Základní přehled předřadných přístrojů

Světelné zdroje pro školské, kancelářské a bytové prostory potřebují, kromě klasické žárovky, pro svou činnost předřadné přístroje. U klasických žárovek plní předřadný přístroj pouze funkci regulátoru. Halogenové žárovky na malé napětí mají dva druhy předřadníků, jedná se o indukční nebo elektronické transformátory, které převádějí jmenovité napětí sítě na napětí 6 V, 12V nebo 24V. U výbojových světelných zdrojů v našem případě lineárních a kompaktních zářivek a moderních kompaktních halogenidových výbojek je předřadník nezbytnou součástí. Omezuje elektrický proud tekoucí výbojovým světelným zdrojem 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. LED diody také potřebují svůj provoz předřadný přístroj, který zajistí stejnosměrný a konstantní proud tekoucí jejím PN přechodem.

11.2. 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. 11.1.* je uveden názorný přehled typů předřadných přístrojů podle jejich třídy energetické účinnosti.

Tab. 11.1: Třídy energetické účinnosti jednotlivých typů předřadníků

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

Vyhláška 442 ze dne 8. července 2004, 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 předřadníků k zářivkám které jsou napájeny z elektrické sítě. Podle této vyhlášky se předřadníky klasifikují do 6-ti kategorií viz. *Tab. 11.2*. Na základě kategorizace předřadníků je v téže tabulce provedena specifikace maximálních příkonů předřadníků pro konkrétní typy světelných zdrojů, které se smí dle výše uvedené vyhlášky používat v České republice do 1.8.2009 a které lze používat od tohoto data.

Tab. 11.2: Přiřazení maximálního použitelného příkonu předřadníku konkrétnímu typu zářivky

Kategorie předřadníku	Příkon zdroje		Maximální příkon obvodů předřadník světelný zdroj	
	50 Hz	vysoký kmitočet	použitelné do 1.8.2009	použitelné od 1.8.2009
Předřadník pro lineární dvoupaticovou zářivku	15	13,5	≤ 25W	≤ 23W
	18	16	≤ 28W	≤ 26W
	30	24	≤ 40W	≤ 38W
	36	32	≤ 45W	≤ 43W
	38	32	≤ 47W	≤ 45W
	58	50	≤ 70W	≤ 67W
	70	60	≤ 83W	≤ 80W
Předřadník pro jednopaticovou zářivku dvojitou	18	16	≤ 28W	≤ 26W
	24	22	≤ 34W	≤ 32W
	36	32	≤ 45W	≤ 43W
Předřadník pro jednopaticovou zářivku čtyřnásobnou, plochou	18	16	≤ 28W	≤ 26W
	24	22	≤ 34W	≤ 32W
	36	32	≤ 45W	≤ 43W
Předřadník pro jednopaticovou zářivku čtyřnásobnou	10	9,5	≤ 18W	≤ 16W
	13	12,5	≤ 21W	≤ 19W
	18	16,5	≤ 28W	≤ 26W
	26	24	≤ 36W	≤ 34W
Předřadník pro jednopaticovou zářivku šestnásobnou	18	16,5	≤ 28W	≤ 26W
	26	24	≤ 36W	≤ 34W
Předřadník pro jednopaticovou zářivku čtvercovou	10	9	≤ 18W	≤ 16W
	16	14	≤ 25W	≤ 23W
	21	19	≤ 31W	≤ 29W
	28	25	≤ 38W	≤ 36W
	38	34	≤ 47W	≤ 45W

Výše uvedené příkonové limity předřadných přístrojů lze přiřadit přímo do energetických tříd viz. *Tab. 11.2*. Je-li předřadník určen pro světelný zdroj, jehož příkon je mezi dvěma hodnotami uvedenými v tabulce, vypočte se maximální příkon obvodu předřadník – světelný zdroj lineární interpolací mezi dvěma hodnotami maximálního příkonu obou nejbližších světelných zdrojů, které jsou uvedeny v *Tab. 11.3*.

Tab. 11.3: Tabulka ukazující přehled tříd energetických účinností pro předřadníky

Kategorie předřadníku	Příkon zdroje		Energetické třídy dle CELMA						
	50 Hz	<30 kHz	A1	A2	A3	B1	B2	C	D
Předřadník pro lineární dvoupaticovou zářivku	15	13,5	≤ 9W	≤ 16W	≤ 18W	≤ 21W	≤ 23W	≤ 25W	> 25W
	18	16	≤ 10,5W	≤ 19W	≤ 21W	≤ 24W	≤ 26W	≤ 28W	> 28W
	30	24	≤ 16,5W	≤ 31W	≤ 33W	≤ 36W	≤ 38W	≤ 40W	> 40W
	36	32	≤ 19W	≤ 36W	≤ 38W	≤ 41W	≤ 43W	≤ 45W	> 45W
	38	32	≤ 20W	≤ 38W	≤ 40W	≤ 43W	≤ 45W	≤ 47W	> 47W
	58	50	≤ 29,5W	≤ 55W	≤ 59W	≤ 64W	≤ 67W	≤ 70W	> 70W
	70	60	≤ 35W	≤ 68W	≤ 72W	≤ 77W	≤ 80W	≤ 83W	> 83W
Předřadník pro jednopaticovo u zářivku dvojitou	18	16	≤ 10,5W	≤ 19W	≤ 21W	≤ 34W	≤ 26W	≤ 28W	> 28W
	24	22	≤ 13,5W	≤ 25W	≤ 27W	≤ 30W	≤ 32W	≤ 34W	> 34W
	36	32	≤ 19W	≤ 36W	≤ 38W	≤ 41W	≤ 43W	≤ 45W	> 45W
Předřadník pro jednopaticovo u zářivku čtyřnásobnou, plochou	18	16	≤ 10,5W	≤ 19W	≤ 21W	≤ 34W	≤ 26W	≤ 28W	> 28W
	24	22	≤ 13,5W	≤ 25W	≤ 27W	≤ 30W	≤ 32W	≤ 34W	> 34W
	36	32	≤ 19W	≤ 36W	≤ 38W	≤ 41W	≤ 43W	≤ 45W	> 45W
Předřadník pro jednopaticovo u zářivku čtyřnásobnou	10	9,5	≤ 6,5W	≤ 11W	≤ 13W	≤ 14W	≤ 16W	≤ 18W	> 18W
	13	12,5	≤ 8W	≤ 14W	≤ 16W	≤ 17W	≤ 19W	≤ 21W	> 21W
	18	16,5	≤ 10,5W	≤ 19W	≤ 21W	≤ 24W	≤ 26W	≤ 28W	> 28W
	26	24	≤ 14,5W	≤ 27W	≤ 29W	≤ 32W	≤ 34W	≤ 36W	> 36W
Předřadník pro jednopaticovo u zářivku šestnásobnou	18	16,5	≤ 10,5W	≤ 19W	≤ 21W	≤ 24W	≤ 26W	≤ 28W	> 28W
	26	24	≤ 14,5W	≤ 27W	≤ 29W	≤ 32W	≤ 34W	≤ 36W	> 36W
	10	9	≤ 6,5W	≤ 11W	≤ 13W	≤ 14W	≤ 16W	≤ 18W	> 18W
Předřadník pro jednopaticovo u zářivku čtvercovou	16	14	≤ 8,5W	≤ 17W	≤ 19W	≤ 21W	≤ 23W	≤ 25W	> 25W
	21	19	≤ 12W	≤ 22W	≤ 24W	≤ 27W	≤ 29W	≤ 31W	> 31W
	28	25	≤ 15,5W	≤ 29W	≤ 31W	≤ 34W	≤ 36W	≤ 38W	> 38W
	38	34	≤ 20W	≤ 38W	≤ 40W	≤ 43W	≤ 45W	≤ 47W	> 47W

Z výše uvedených tabulek jasně vyplývá, že v České republice lze prodávat předřadníky v třídě energetické účinnosti C pouze do 1.8.2009. Od tohoto data se budou moc pro předřadníky k zářivkám prodávat pouze v třídě energetické účinnosti B2.

11.3. Předřadné přístroje pro žárovky

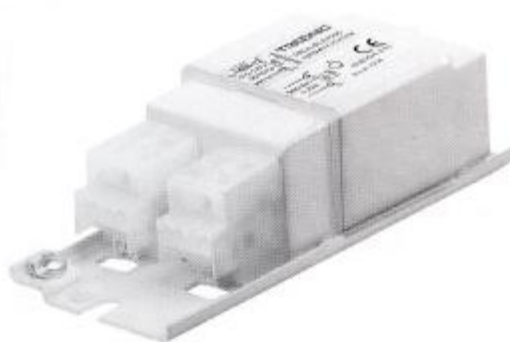
Standardní žárovky pro všeobecné osvětlování pracují především na síťovém napětí 230 V a nepotřebují tudíž ke svému provozu předřadné přístroje. Předřadné přístroje u žárovek lze použít v souvislosti s jejich stmíváním. To znamená, že lze měnit příkon žárovky změnou napěťové hladiny na které je provozována. Dochází tak ke změnám teploty vlákna žárovky a změně vyzařování ve viditelném spektru. Stmíváním se však budeme zabývat v následující kapitole.

11.4. Předřadné přístroje pro halogenové žárovky

Halogenové žárovky se na trh dodávají nejen v typech určených pro napětí 230 V, ale také pro nízká napětí 6 V, 12 V a 24 V. Halogenových žárovek na nízké napětí je však výrazná většina

(možnost použití v malých „hezčích“ osvětlovacích tělesech). Tyto světelné zdroje potřebují ke svému provozu příslušný transformátor – tedy předřadný přístroj – předřadník.

Indukční transformátory jsou zpravidla navinuty na toroidním jádru složeném s transformátorových plechů. Vyrábějí se běžně ve výkonech od 50 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. Tyto transformátory musí splňovat podmínku dvojité izolace a jištění proti zkratu přímo na transformátoru (zpravidla bimetal nebo nízkotavitelný kov).



Obr. 11.1: Příklad indukčního transformátoru pro halogenové žárovky

Elektronické transformátory pracují na principu středofrekvenčního měniče. Síťové napětí se nejdříve usměrní a poté se v oscilačním obvodu rozkmitá na frekvenci kolem 30 kHz – 40 kHz. Na feritovém transformátoru se transformuje na pracovní napětí, zpravidla 12V. 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 potenciometrů nebo pomocí digitálních protokolů. Přístroje jsou běžně dostupné do výkonu 150 W.

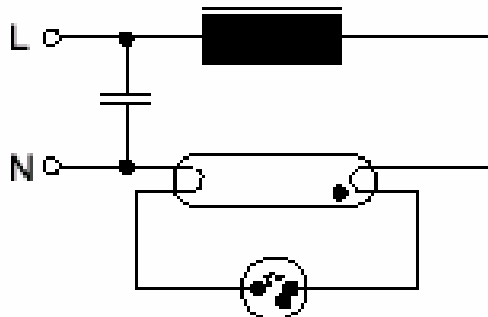


Obr. 11.2: Příklad elektronického předřadníku pro halogenové žárovky

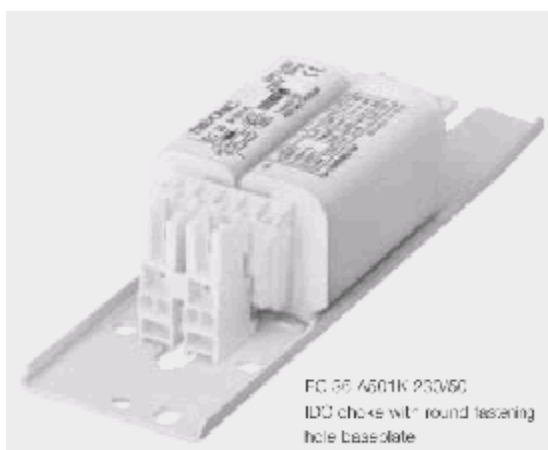
11.5. Magnetické (konvenční) předřadníky

Jak již bylo zdůrazněno výbojové zdroje (v našem případě zářivky či kompaktní halogenidové výbojky) vyžadují ke svému provozu předřadné obvody, které stabilizují proud tekoucí výbojovým zdrojem. Stabilizace činným odporem je nevhodná, a proto je při střídavém napájecím napětí vhodnější stabilizace tlumivkou. Schéma zapojení výbojky s indukčním předřadníkem je na Obr. 11.3 Při stabilizaci výboje tlumivkou je zapotřebí vzniklý fázový posuv mezi napětím a proudem kompenzovat kondenzátory. Účinnost obvodu bez kompenzace se pohybuje kolem cca 0,5. Stabilizace tlumivkou je výhodná i s ohledem na opakující se

zapalování v každé půlperiodě střídavého proudu. Zapalování je totiž usnadněno jednak deformací napěťové křivky a jednak i fázovým posuvem napětí. Předřadná zařízení musí být přizpůsobená příslušnému světelnému zdroji (jeho příkonu), provoznímu napětí a kmitočtu.



Obr. 11.3: Zapojení zářivky s tlumivkou, zapalovačem a kompenzačním kondenzátorem.



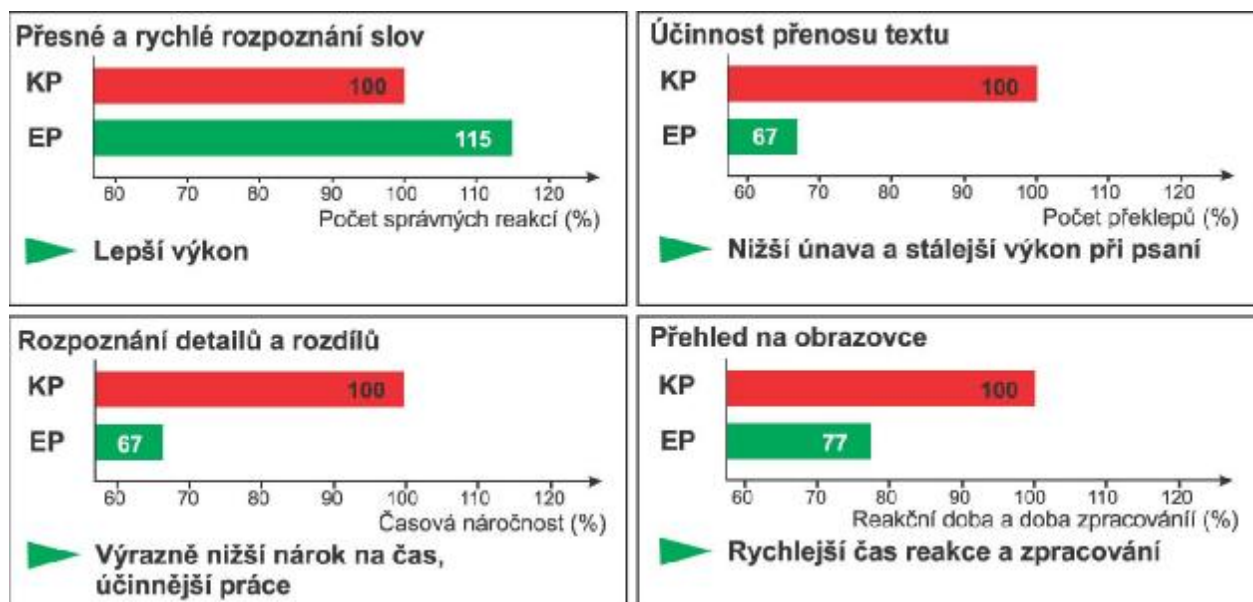
Obr. 11.4: Příklad indukčního předřadníku pro lineární zářivku T8

11.6. Elektronické předřadníky pro zářivky

S rozvojem elektroniky se objevily vhodné měniče frekvence s dostatečně vysokou účinností a zároveň malými rozměry, které se staly základem elektronických předřadníků. Díky novým technologiím vznikl prostor k úsporám energie, prodloužení doby života zářivek a ke zvýšení kvality světelného toku zářivek. Všechna tato vylepšení a úspory byly dosaženy provozem zářivek na vysoké frekvenci v pásmu 40 kHz až 100 kHz.

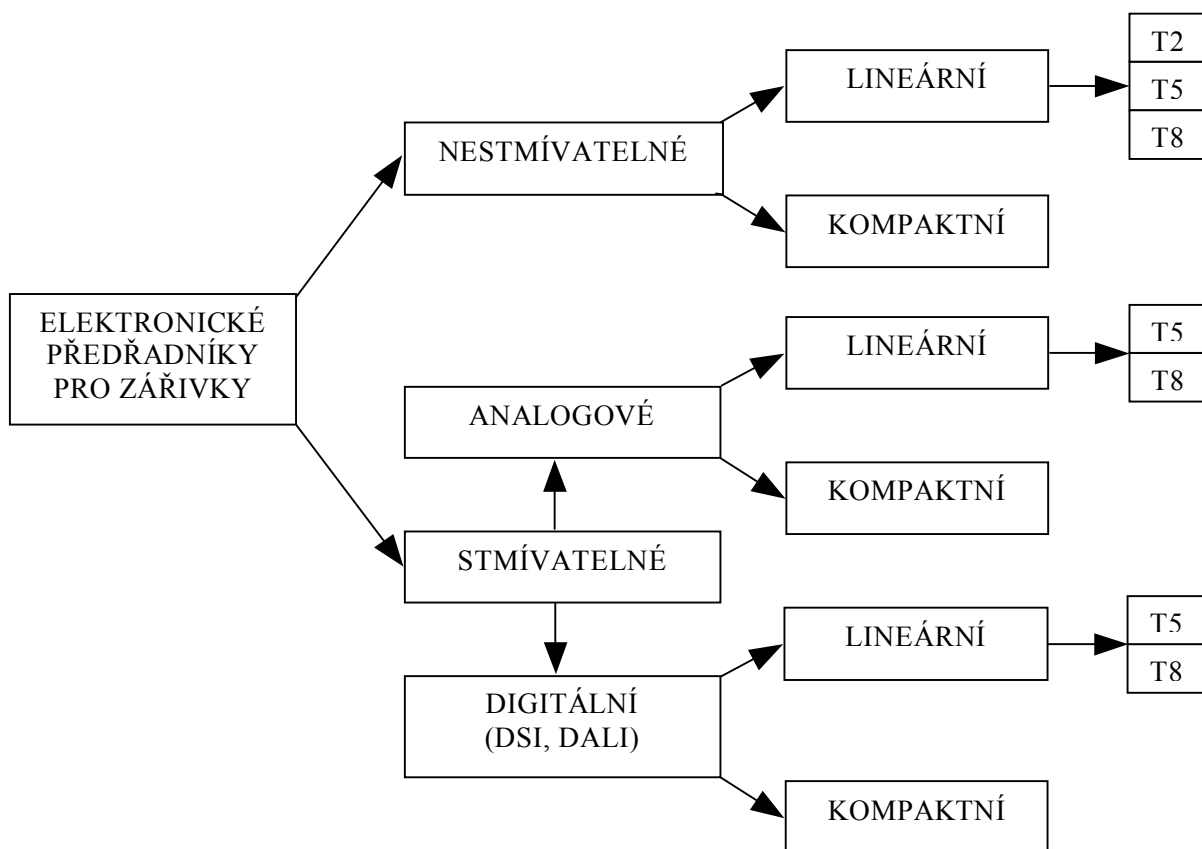
- **Úspory energie** - vzhledem k vysoké napájecí frekvenci dochází jak k podstatnému snížení ztrát, tak k výraznému zmenšení a samozřejmě odlehčení tlumivky. Nárůst světelného toku zářivky provozované na elektronickém předřadníku je ca 10 %. Výrobci elektronických předřadníků, ale snižují příkon světelných zdrojů provozovaných na elektronických předřadnících tak, aby světelný tok byl odpovídající jak při provozu na konvenčním tak na elektronickém předřadníku. To znamená, že příkony zářivek provozovaných na elektronických předřadnících jsou o cca 10 % nižší než na předřadnících konvenčních (viz. Tab. 11.3. – porovnání příkonů světelných zdrojů na 50 Hz a na 30 kHz)
- **Prodloužení doby života** - na vysoké frekvenci se napětí na výboji dostává do stabilního stavu (nedochází k zapalovacím a vypínacím napěťovým špičkám), čímž dochází k optimalizaci výboje a prodloužení životnosti zářivek.

- **Kvalita světelného toku** - napájení výboje vysokou frekvencí zrovnoměrní světelný tok, protože výboj v trubici a následně luminofor díky svým časovým konstantám nestačí sledovat vysokou napájecí frekvenci. To znamená, že elektronické předřadníky zcela eliminují možnost vzniku stroboskopického efektu a zvyšují zrakový výkon. Následující obrázek znázorňuje porovnání vybraných zrakových činností provozovaných při srovnatelném zářivkovém osvětlení s konvenčními a elektronickými předřadníky. Jak je z obrázku patrné, konstantní světelný tok výrazně zlepšuje kvalitu vykonávané zrakové činnosti a zvyšuje její rychlost.



Obr. 11.5: Schematické znázornění závislosti zrakového výkonu při práci s počítačem na předřadných přístrojích

U elektronických předřadníků můžeme učinit základní rozdělení, které je uvedeno na následujícím obrázku.



Obr. 11.6 Rozdělení elektronických předřadníků pro žárovky.

Elektronický předřadník musí mimo stabilizaci proudu také zajišťovat i další funkce, jako například vytvoření potřebného zápalného napětí, nažhavení elektrod před zapálením výboje atd. Podle toho jestli je elektronický předřadník nedílnou součástí svítidla nebo zdroje či je samostatný konstrukční prvek můžeme také elektronické předřadníky dělit na:

- vestavné – zabudované do svítidla,
- integrované – tvoří součást světelného zdroje,
- samostatné – montují se mimo svítidlo.

Předřadníky integrované do světelného zdroje jsou zabudovány v kompaktních zářivkách. Světelné zdroje tohoto typu byly vyvinuty jako náhrada za žárovky a mají oproti nim řadu významných předností. Jde například o mnohonásobně delší dobu života, nižší příkon a větší měrný výkon. Naproti tomu kompaktní zářivky s elektronickými předřadníky mají vyšší pořizovací náklady a zpětně ovlivňují napájecí soustavu harmonickým zkreslením.

Vlastnosti integrovaných elektronických předřadníků:

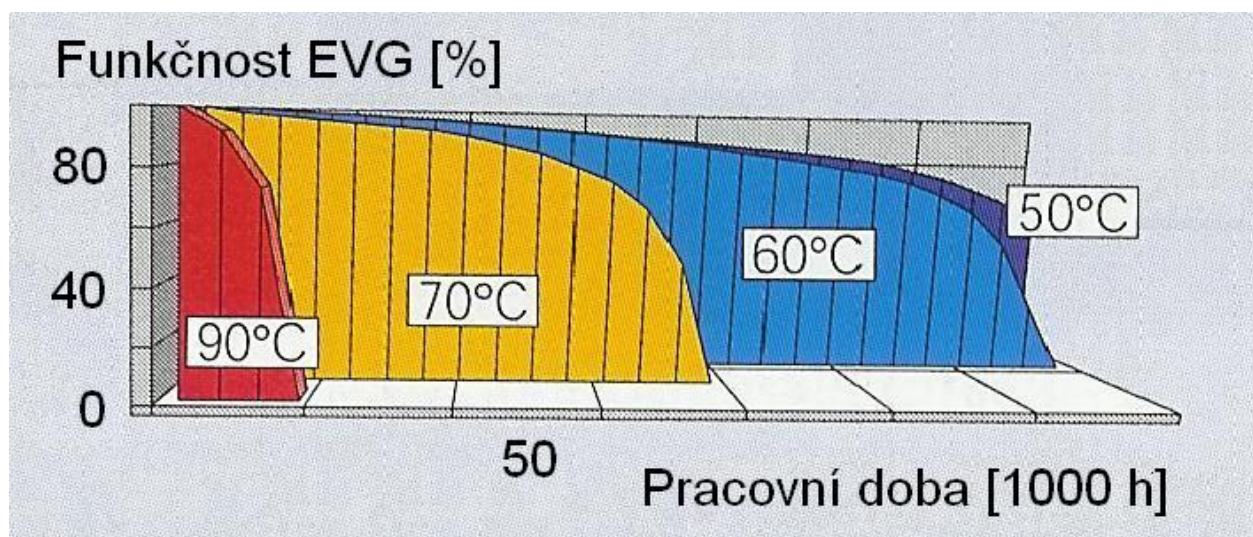
- Doba života – životnost kompaktních zářivek s elektronickými předřadníky udávaná výrobcem se pohybuje okolo 15 000 hod. provozu, což je zhruba 15-krát více než je doba života žárovky. Na trhu jsou již k dispozici světelné zdroje, u kterých jde vyměnit pouze výbojovou trubici, čímž se doba života zvýší na cca 40 000 hod., což odpovídá životnosti samotného elektronického předřadníku.

- Nižší příkon – každý výrobce udává na obalu svého produktu úsporu elektrické energie oproti žárovce, při zachování světelného toku. Úspora se pohybuje okolo 60 – 80 % elektrické energie.
- Vyšší měrný výkon – z hodnoty 10 lm.W^{-1} u žárovek se kompaktní zářivky s elektronickými předřadníkem dostávají až na hodnoty měrného výkonu okolo 80 lm.W^{-1} .
- Teplý start (přehřátí elektrod ve zdroji) – vlivem teplého startu zářivka neblíká při rozsvěcování a dochází k prodloužení života při častém spínání. Je třeba počítat s časovou prodlevou (cca 1 s až 2 s), než dojde k zapálení výboje. Na jmenovitý světelný tok nabíhají zářivky cca po jedné minutě, což lze považovat za jejich nevýhodu.
- Zpětné vlivy na napájecí soustavu – mezi základní zpětné vlivy, které ovlivňují napájecí soustavu, patří zejména generování harmonických proudů a zhoršování skutečného účinníku. Kompaktní zářivky s elektronickým předřadníkem odebírají pulzní proud, což může u velkých osvětlovacích soustav způsobovat problémy v oblasti elektromagnetické kompatibility.

Předřadníky vestavné do svítidla pracují na stejném principu jako elektronické předřadníky integrované. Vzhledem k vyšším příkonům a možnosti větších rozměrů mají většinou vestavné elektronické předřadníky obvody zlepšující provozní podmínky ve srovnání s elektronickými předřadníky integrovanými.

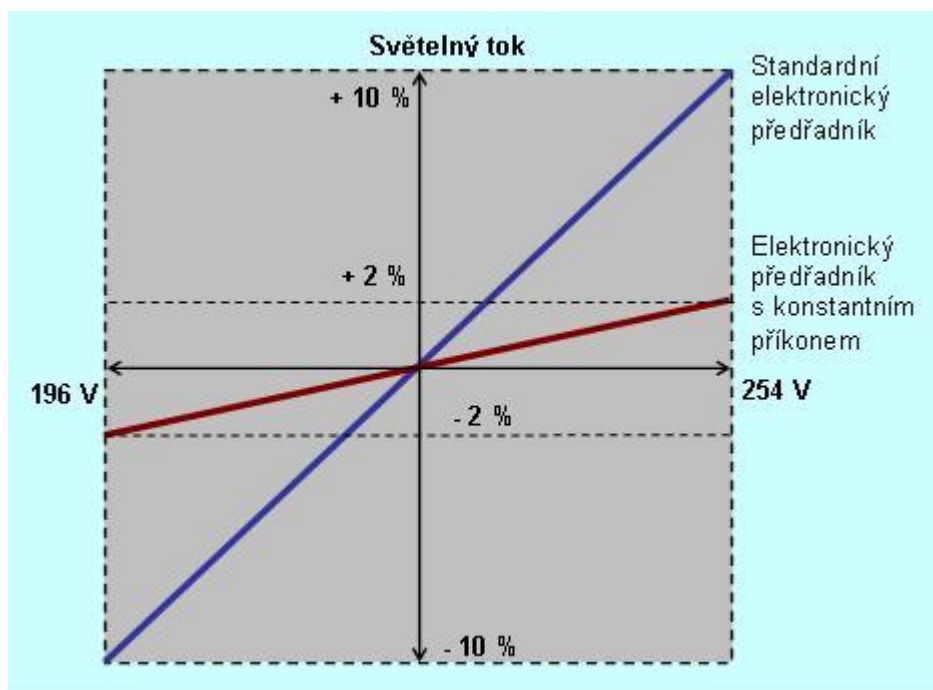
Vlastnosti vestavných elektronických předřadníků:

- Doba života – životnost zářivek s elektronickými předřadníky udávaná výrobcem se pohybuje okolo 18 000 hod. provozu, což je zhruba 18-krát více než je doba životnosti žárovky. Doba života samotných elektronických předřadníků se pohybuje okolo 50 000 hod. Tato doba života je však silně závislá na teplotě měřicího bodu t_c elektronického předřadníku viz. Obr. 11.7.



Obr. 11.7 Závislost doby života elektronických předřadníků na teplotě měřicího bodu t_c

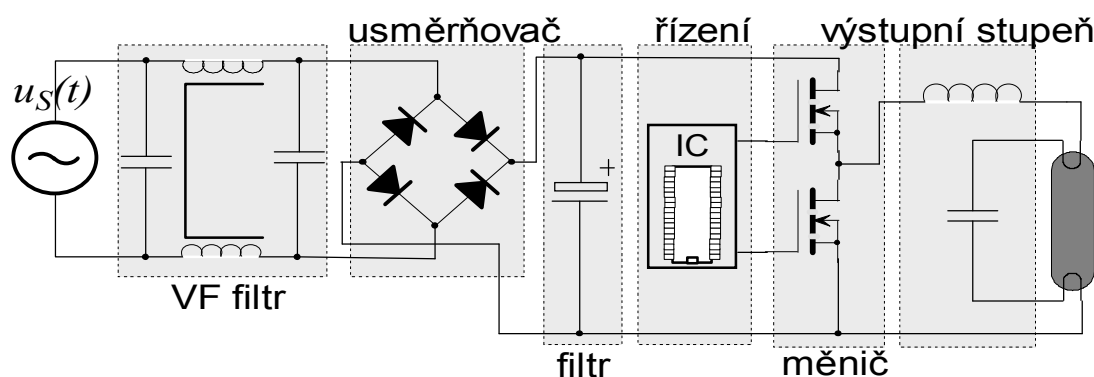
- Nižší příkon – Úspora příkonu světelného zdroje provozovaného na elektronickém předřadníku se pohybuje do 30 % oproti provozu stejného zdroje na předřadníku konvenčním.
- Vyšší měrný výkon – z hodnoty 10 lm.W^{-1} u žárovek se kompaktní zářivky s elektronickými předřadníkem dostávají až k hodnotám měrného výkonu 100 lm.W^{-1} u zářivek T5.
- kompenzace účinníku – pro potlačení pulzního odběru proudu jsou na vstup elektronických předřadníků vřazovány obvody s pulzně šířkovou modulací, které jsou schopny zabezpečit odběr proudu během celé periody napájecího napětí blížící se sinusovému průběhu. Předřadníky s těmito obvody dosahují účinníku až 0,99.
- Teplý start (přehřátí elektrod ve zdroji) – vlivem teplého startu zářivka neblíká při rozsvěcování a dochází k prodloužení života při častém spínání. Je třeba počítat s časovou prodlevou (cca 0,5 s až 2 s), než dojde k zapálení výboje. Na jmenovitý světelný tok nabíhají zářivky cca po jedné minutě, což lze považovat za jejich nevýhodu.
- Konstantní příkon – elektronické předřadníky s konstantním příkonem jsou imunní vůči kolísání napájecího napětí. Dochází-li ke změnám napájecího napětí ať už skokově nebo periodicky světelný tok zářivek zůstává konstantní. Předřadníky tohoto typu eliminují tzv. „flicker effect“ (míhání světla vlivem kolísání napětí v síti). Rozdíl závislosti světelného toku na změnách napětí je znázorněn na Obr. 11.8.



Obr. 11.8 Závislosti světelného toku u standardních elektronických předřadníků a u elektronických předřadníků s konstantním příkonem na změnách napětí

- Automatické odpojení vadných trubic,
- Automatické zapnutí po výměně trubic,
- Tepelná pojistka,
- Možnost provozu na střídavém i stejnosměrném napětí. To znamená že elektronické předřadníky lze využít i pro nouzové osvětlení (bez navýšení investic do nouzových rozvodů a nouzových svítidel).
- Odpojení vyhřívání katody (cut off) u elektronických předřadníků pro zářivky T5 čímž se dosahuje úspora příkonu 5 % – 7 % vzniklá zamezením protékání proudu katodou.
-

Na Obr. 11.9 jsou znázorněny typické pracovní bloky elektronického předřadníku.



Obr. 11.9: Blokové schéma elektronického předřadníku.

V obvodu tohoto předřadníku je síťové napětí nejprve usměrněno diodovým můstkem a vyhlazeno elektrolytickým kondenzátorem. Měnič je tranzistorový převodník, který převádí stejnosměrné napětí na vysokofrekvenční energii dodávanou do světelného zdroje. Řídicí obvod spouští oscilaci a monitoruje činnost obvodu. Vzhledem k vysokorychlostnímu spínání převodníku a proudovým impulsům procházejícím usměrňovačem je předřadník zdrojem elektromagnetické interference. Tato interference je potlačena VF filtrem. Tento obvod filtruje jak nízkofrekvenční harmonické proudy tak i vysokofrekvenční interferenci a zajišťuje také dostatečnou úroveň imunity proti rušení ze sítě.

Srovnání elektronických a indukčních předřadníků

Nevýhody indukčních předřadníků ve srovnání s elektronickými předřadníky:

- Vyšší dimenzování přívodů ke svítidlu
- Potřeba kompenzace svítidel
- Větší oteplení
- Větší vibrace a 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
- delší životnost světelného zdroje a s tím spojené nižší náklady na údržbu osvětlovací soustavy

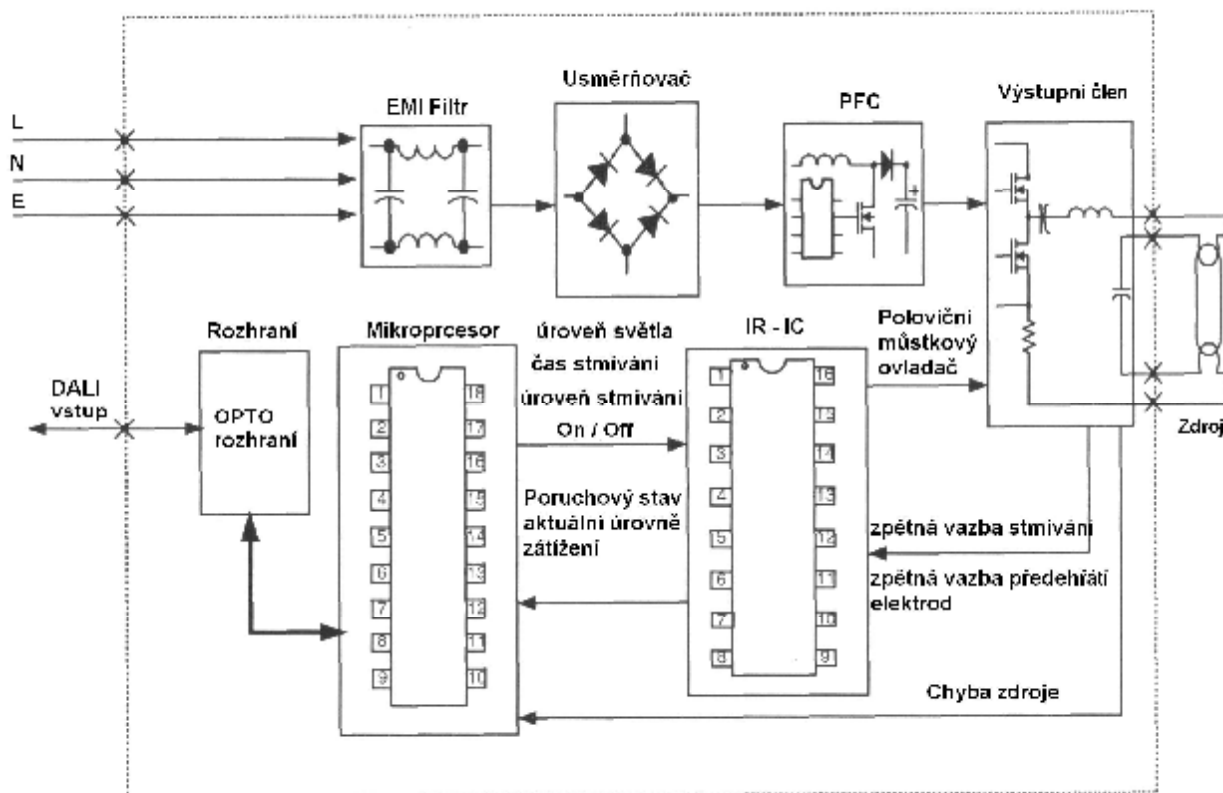
- snížení úbytku světelného toku během života zdroje
- odolnost vůči výkyvům napětí a rušení ze sítě
- tichý provoz bez blikání
- elektronické předřadníky nevytváří stroboskopický efekt
- nízká hmotnost
- automatické odpojení na konci života světelného zdroje
- nižší náklady na instalaci

11.7. Stmívatelné elektronické předřadníky

Stmívání u elektronických předřadníků je dosahováno změnami frekvence výboje. Pro uživatele je však nejdůležitější znalost možností stmívání elektronických předřadníků. Ovládání stmívání elektronických předřadníků pomocí analogového signálu probíhá v rozsahu stejnosměrného napětí 1 V – 10 V. Ovládání stmívání pomocí digitálního signálu v současnosti probíhá pomocí dvou principů. První princip DSI (Digital Serial Interface) je firemní digitální sériová komunikace vyvinutá firmou TRIDONIC.ATCO. Druhý princip digitálního ovládání stmívání elektronických předřadníků je vytvořen na základě normalizovaného protokolu DALI (Digital Addressable Lighting Interface). Hlubší popis možností stmívání je proveden v kapitole 12.

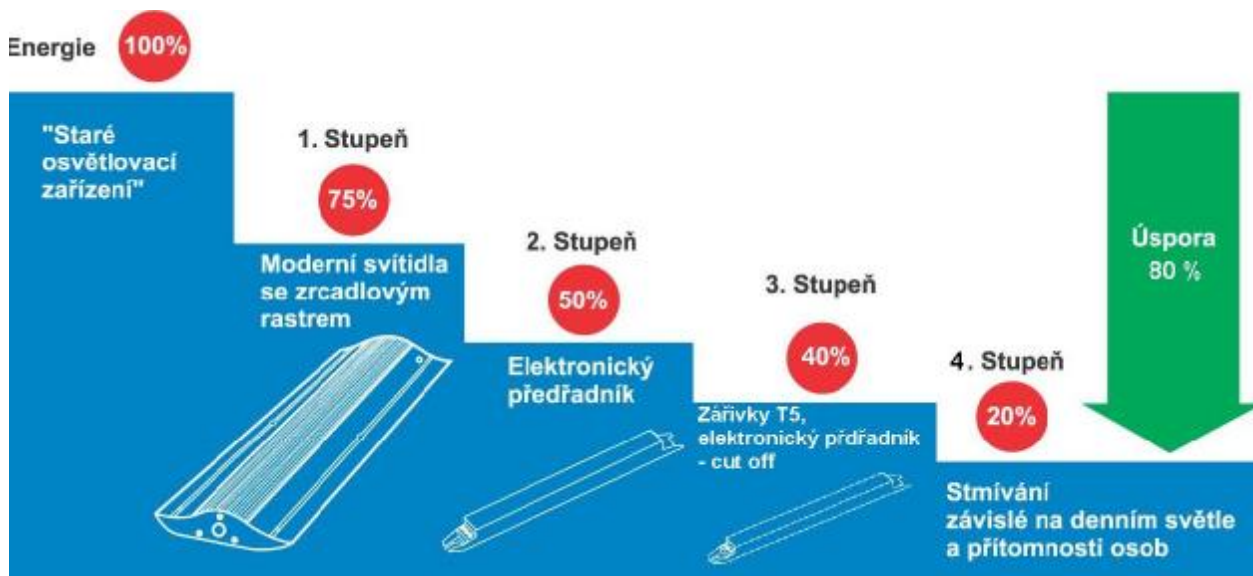
Základní rozdíl vlastností stmívání elektronických předřadníků:

- Analogové ovládání stmívání – stmívání je ovládané úrovní napětí. Pro ovládání stmívatelných předřadníků je použito signálního vedení. U analogového systému dochází k úbytkům napětí a nemusí být tedy splněna podmínka nastavení všech el. předřadníků osvětlovací soustavy na stejnou úroveň.
- Digitální ovládání stmívání – ovládání stmívání probíhá opět po vedení (sběrnici). U digitálního signálu však nedochází ke ztrátě informace u předřadníků více vzdálených od zdroje ovládacího signálu. Digitálním ovládáním je zajištěno nastavení všech stmívatelných předřadníků na stejnou úroveň.



Obr. 11.10: DALI předřadník

Pomocí stmívatelných elektronických předřadníků lze dosáhnout, v kombinaci s dalšími systémy řízení osvětlení, úspory energie až 80% viz Obr. 11.11.



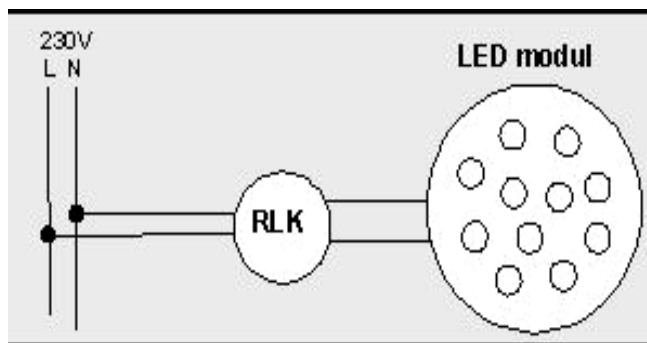
Obr. 11.11: Graf míry úspor osvětlovacích soustav

Elektronické stmívatelné předřadníky umožňují rozsah stmívání zářivek v rozsahu 1% popř. 3% – 100 % světelného toku u oproti rozsahu stmívání cca 40 % - 100 % u zářivek s konvenčními předřadníky řízených fázovým stmíváním. Stmívatelné elektronické

předřadníky také na rozdíl od konvenčních předřadníků umožňují start zářivky na jakékoliv nastavené hodnotě stmívání.

11.8. Předřadné přístroje pro led diody

U LED diod slouží předřadné přístroje k jejich napájení stejnosměrným konstantním proudem. Obsahují ochrany proti zkratu, přetížení, přepětí a teplotě. Vyrábějí se také v regulovatelném provedení s možností regulace tlačítka, potenciometry a v digitálních systémech řízení.



Obr. 11.12 Příklad předřadného přístroje pro moduly vytvořené z LED diod

Literatura:

- [11.1] Plch J.: Světelná technika v praxi, Praha, 1999.
- [11.2] Sokanský K.: Inteligentní řízení osvětlovacích soustav vnitřního osvětlení, Publikace ČEA, Ostrava 2004.
- [11.3] INGE Opava firemní katalog, www.inge.cz
- [11.4] TTRIDINIC.ATCO firemní katalog, www.trodonicatco.at
- [11.5] OSRAM firemní katalog, www.osram.com

12. ŘÍZENÍ A REGULACE OSVĚTLENÍ

12.1. Úvod

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, příjemnější 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 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 budovách, jako jsou vytápění, klimatizace, bezpečnostní systémy a požární signalizace. Přestože ekonomické a energetické úspory jsou hlavním kritériem pro volbu těchto systémů, dosahuje se pomocí nich také zvýšení komfortu osvětlování a provozní bezpečnosti.

Nejdůležitější 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 zabezpečující 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. okruhováním 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 %. Počet regulačních stupňů závisí pouze na počtu okruhů. Je nutné s těmito stupni počítat (již při návrhu osvětlovací soustavy), tak aby byla při všech úrovních splněna podmínka požadované rovnoměrnosti osvětlení. 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 ovládáním. 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. Tento fakt je nutno zdůraznit, protože například při provozu osvětlovací soustavy na 50% světelného toku není elektrický příkon 50%, ale je vyšší. V Tab. 12.1 je znázorněn rozsah regulace světelného toku vybraných zdrojů

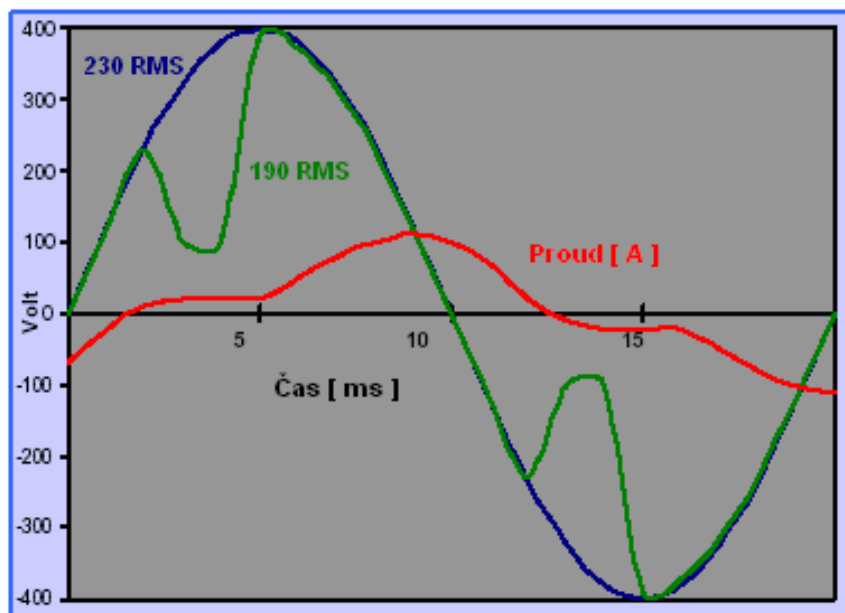
Tab. 12.1: Rozsah regulace různých světelných zdrojů

Světelné zdroje	Rozsah regulace [%]	Poznámka
Žárovky	0 ÷ 100	Snižování T_c (K) teploty chromatičnosti
Halogenové žárovky	0 ÷ 100	
Zářivky s konvenčním předřadníkem (tlumivka)	40 ÷ 100	
Zářivky s elektronickým předřadníkem	1 ÷ 100	
LED diody	0 ÷ 100	
Halogenové výbojky	50 ÷ 100	Nedefinované změny barvy světla

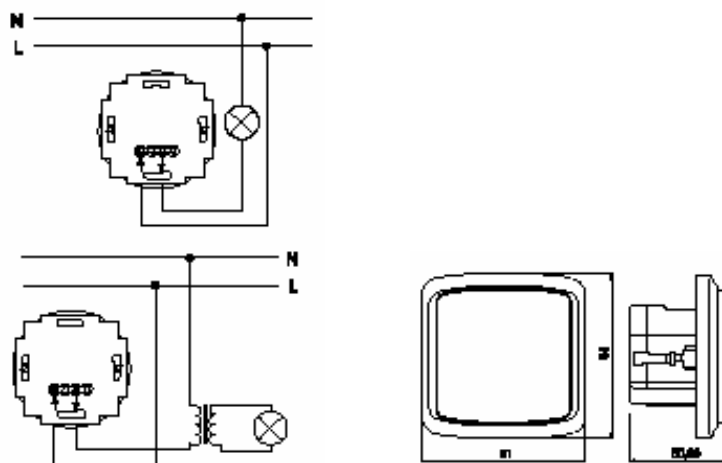
12.2. Možnosti regulace světelných zdrojů v interiérových svítidlech

12.2.1. Klasická žárovka

- Základní regulace světelného toku soustavy je přepínáním okruhů, nejčastěji v rozsahu 0%, 50 %, 100 % (v případě 2 elektrických okruhů).
- 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.



Obr. 12.1: Změna efektivní hodnoty napětí při zachování amplitudy napětí.

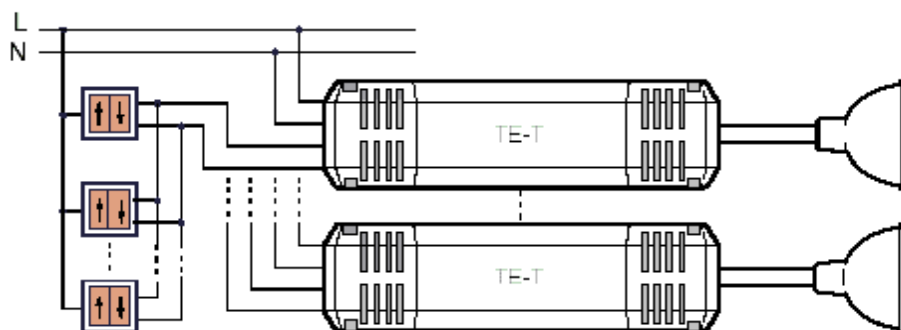


Obr. 12.2: Regulátor osvětlení fy ABB v provedení tango D pro montáž do instalační krabice

- Amplitudová regulace - jedná se rovněž o regulaci napětím. Systém reguluje světelný tok světelného zdroje změnou efektivní hodnoty napětí, ke které dochází změnou amplitudy napětí (přepínání odboček transformátorů nebo regulace amplitudy napětí pomocí autotransformátorů). Rozsah regulace od 0 % do 100 % světelného toku.

12.2.2. Halogenová žárovka na nízké napětí

Principy regulace jsou stejné jako v předcházející kapitole. Výkon se reguluje na primární straně transformátoru. Používají se regulátory určené pro stmívání zdrojů napájených indukčními nebo elektronickými transformátory. U halogenových žárovek je nutné uvažovat s tím, že při jejich regulaci se zastaví kruhový proces usazování wolframu. Z tohoto důvodu je nutné zajistit občasné provozování na 100% napájecím napětí tak, aby došlo ke sloučení wolframu s halogenovými prvky uvnitř baňky žárovky. Nedojde tím k snižování doby života žárovky.



Obr. 12.3: Regulace halogenových žárovek s elektronickým stmívatelným transformátorem pomocí instalačních tlačítek.

12.2.3. Zářivky s konvenčním předřadníkem

- Základní regulace světelného toku soustavy je přepínáním okruhů, nejčastěji v rozsahu 0%, 50 %, 100 %.
- Fázová regulace - Rozsah regulace od 40 % do 100 % světelného toku. Regulace probíhá na základě popisu fázového stmívání klasické žárovky viz. *Obr. 12.3*.

12.2.4. Zářivky se stmívatelným elektronickým předřadníkem

Stmíváním zářivek s elektronických předřadníkem dosáhneme změnou parametrů (frekvence, napětí) na výboji. U elektronických předřadníků rozlišujeme v podstatě dva druhy ovládání stmívání a to analogové a digitální.

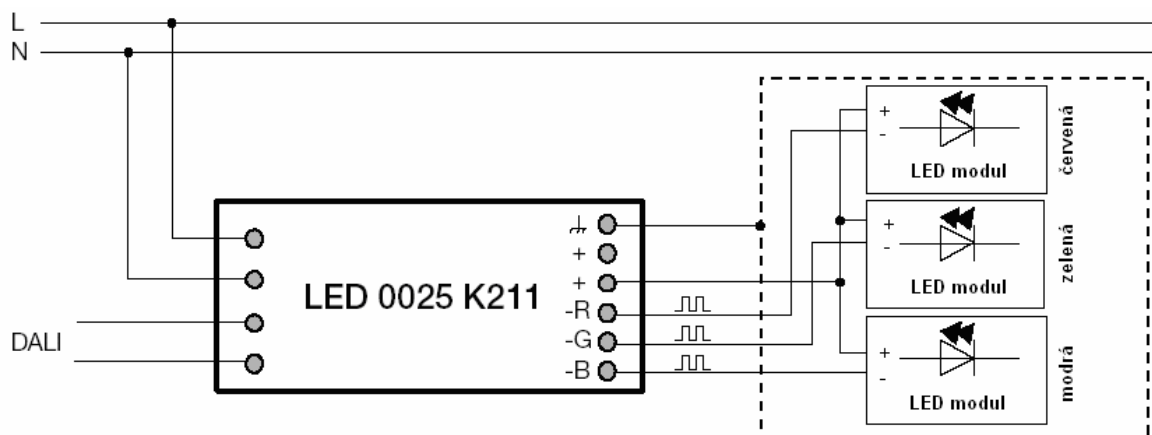
Pomocí stmívatelných elektronickým předřadníků dosahujeme plynulou regulaci světelného toku zdroje v rozsahu 1%, - 100 % u lineárních zářivek a 3% 100% u kompaktních zářivek.

12.2.5. Zářivky s nestmívatelným elektronickým předřadníkem

Pouze základní regulace světelného toku soustavy je přepínáním okruhů, nejčastěji v rozsahu 0%, 50 %, 100 %.

12.2.6. LED diody

Intenzita osvětlení se reguluje elektronicky v předřadníku pomocí pulsně šířkové modulace. Ovládání regulace je možno tlačítky, potenciometry a pomocí digitálních standardů.



Obr. 12.4: Ukázka regulace tří led modulů pomocí DALI standardu.

12.2.7. Halogenidové výbojky

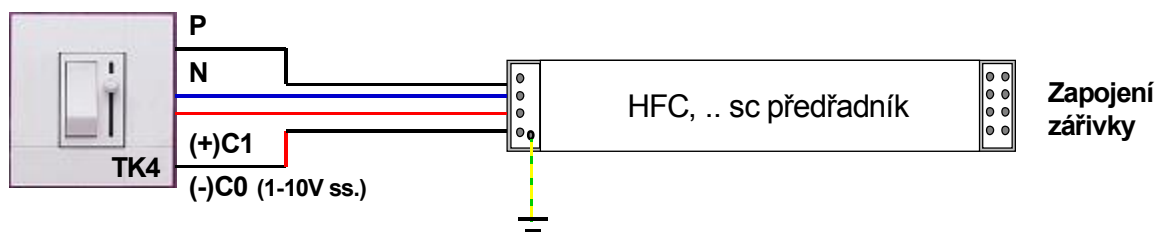
Základní regulace – Regulace světelného toku osvětlovací soustavy je přepínáním okruhů nejčastěji v rozsahu 0%, 50% a 100%. Velkou nevýhodou halogenidových výbojek je jejich teplotní závislost. Než můžeme výbojku po vypnutí znovu zapnout musíme počkat na jejich zchladnutí. Doba chladnutí je cca $10 \div 20$ minut.

Fázová regulace - Rozsah regulace od 40 % do 100 % světelného toku. Regulace probíhá na základě popisu fázového stmívání klasické žárovky viz. Obr. 12.3. Nevýhodou fázové regulace těchto zdrojů je nedefinovatelná změna barvy světla.

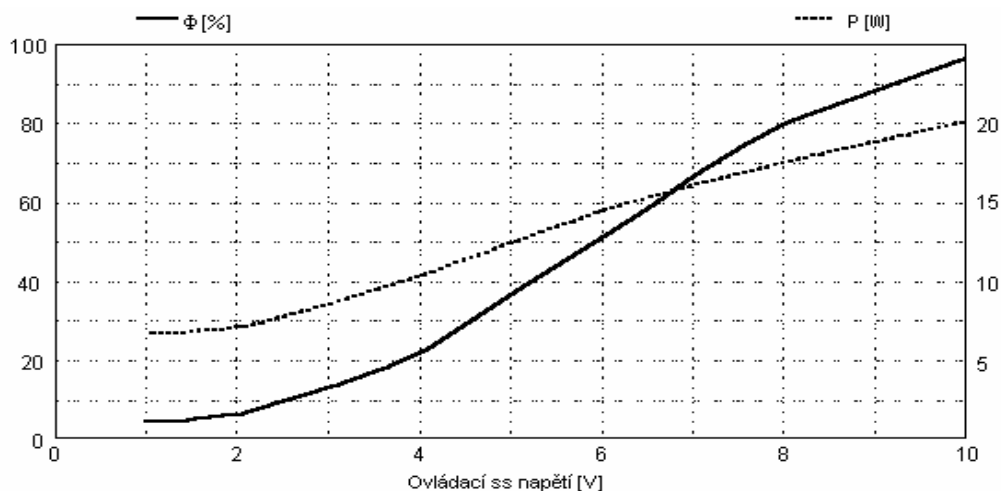
12.3. Řízení elektronických předřadníků

12.3.1. 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 elektronických předřadníků osvětlovací soustavy na stejnou úroveň. Řídicí napětí je v rozsahu 1-10V. Na obrázku 8.1 je instalační schéma zapojení analogového ovládání a na Obr. 8.2 je průběh závislosti světelného toku a příkonu na ovládacím napětí elektronického předřadníku EL1x18 HFC.



Obr. 12.5: Ukázka modulárního předřadníkového ovladače HELVAR, který nabízí analogové řízení elektronického předřadníku ss napětím 1-10V podle ČSN EN 60929.



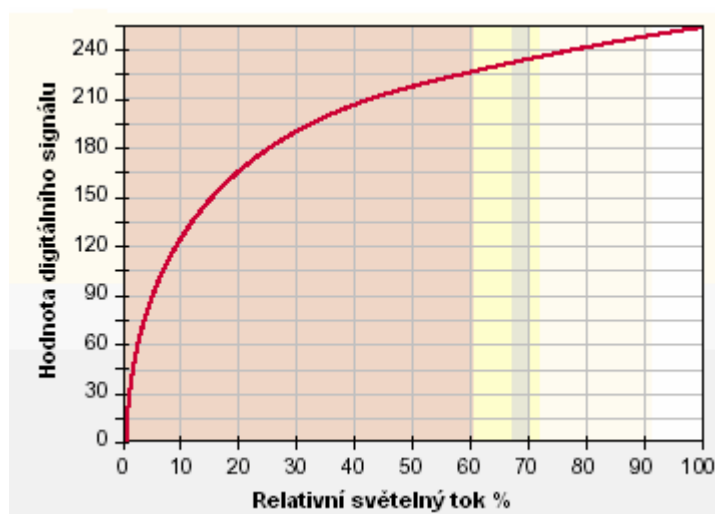
Obr. 12.6: Graf závislosti světelného toku a příkonu na ovládacím napětí.

12.3.2. Digitální řízení

Novinkou několika posledních let je digitální řízení elektronických předřadníků. Používá se zde starší rozhraní DSI nebo novější DALI firmy TRIDONIC.ATCO. Výhodou obou (DSI i DALI) ve srovnání s analogovým stmíváním je větší odolnost proti rušení a proti přepólování řídicího napětí. DALI rozhraní má ještě navíc 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), a nebo pomocí digitálního telegramu. Digitálním ovládáním je zajištěno nastavení všech stmívatelných předřadníků na stejnou úroveň.

Digitální řízení pomocí rozhraní DSI

V DSI (digital serial interface = Digitální sériové rozhraní) se převádějí signály obslužných elementů (tlačítka, senzory, domovní řídicí systémy atd.) na digitální data (digitální sériové slovo) a přenášejí se je k jednotlivým elektronickým předřadným přístrojům. Protože jednotlivé předřadníky jsou řízeny digitálně, je úroveň světelného toku od prvního do posledního předřadníku stejná. V digitálním stmívacím systému jsou jednotlivé hodnoty řídicího signálu přiřazeny předdefinované hodnotě světelného toku. Odstupňování je v souladu s logaritmickou křivkou citlivosti oka. To znamená, že systém DALI respektuje vnímání lidského oka. Řízení stmívání je provedeno po 255 krocích podle speciálně definované lineární křivky viz. Obr. 12.6.



Obr. 12.6: Charakteristika stmívání digitálních předřadníků

Digitální řízení pomocí rozhraní DALI

Vlastní protokol DALI byl vyvinut v polovině devadesátých let mezinárodní elektrotechnickou komisí (International Electrotechnical Commission - IEC). Ovládání pomocí analogových rozhraní jako je systém 1-10V neumožňuje ani flexibilitu ani možnost řízení jednotlivých svítidel v osvětlovacím systému. Proto byl vyvinut sběrníkový 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 (Digital Addressable Lighting Interface = digitální adresovatelné světelné rozhraní) je mezinárodní norma, která zaručuje vzájemnou komunikovatelnost řízených stmívatelných předřadníků od různých výrobců. Rozhraní DALI je uvedeno v normě zářivkového předřadníku IEC 60929 v příloze E. DALI protokol zaručuje vzájemnou digitální komunikaci mezi jednotlivými prvky osvětlovací soustavy. Jsou zde vyspecifikovány parametry přenosu a definovány příkazy pro řízení prvky a jejich odpovědi včetně definice datové struktury. Každý prvek lze individuálně řídit, protože má svou předepsanou adresu.

Řízené prvky jsou rozděleny podle typů:

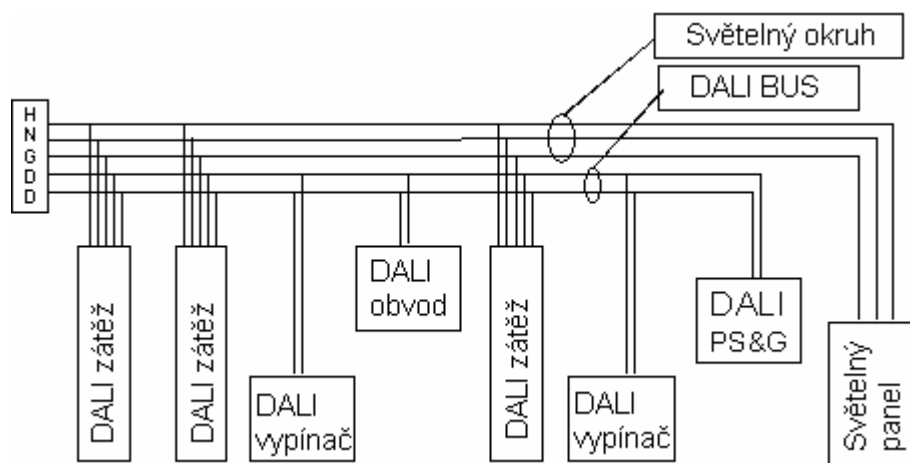
- Typ 0 - digitální předřadníky pro lineární nebo kompaktní zářivky
- Typ 1 - veškerá zařízení nouzového osvětlení
- Typ 2 - prvky s vysokotlakými výbojkovými zdroji
- Typ 3 - řízené digitální transformátory pro nízkonapěťové halogenové zdroje
- Typ 4 - fázové měniče pro klasické a halogenové žárovky
- 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)

Všechny prvky osvětlovací soustavy jsou navzájem propojeny datovou sběrnicí, kterou tvoří dva vodiče. Zapojení prvků může být libovolnou kombinací hvězdicové a větvené soustavy. Není povoleno pouze kruhové uspořádání. Při instalaci nezáleží na polaritě vodičů. Data se po sběrnici přenášejí efektivní přenosovou rychlostí 1200 bitů za sekundu. Příklad osvětlovací soustavy s DALI protokolem je uveden na *Obr. 12.7*.



Obr. 12.7: Schéma zapojení osvětlovacího systému s DALI protokolem.

Protokol DALI definuje příkazy a také dotazy, na které daný předřadník zasílá požadované údaje. Příkaz je tvořen 19 bity, první bit je aktivační, pak následuje 8 bitů (1 byte) pro adresaci, dalších 8 bitů (1 bajt) obsahujících příkaz nebo data a dva stop bity. Z osmi adresních bitů pouze šest definuje adresu konkrétního prvku, je zde totiž možnost vysílat všem prvkům nebo jen definované skupině. Pomocí šesti bitů jsme tedy schopni adresovat maximálně 64 prvků systému. Je předdefinováno více než 100 DALI příkazů.

Některé DALI příkazy:

- 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

Příklady dotazů pro jednotlivé prvky (předřadníky) :

- Aktuální úroveň
- Typ scény
- Čas smívání
- Maximální úroveň
- Úroveň poruch systému
- Příslušnost ke skupině
- Typ verze
- Minimální úroveň

Elektronické předřadníky různých světových výrobců pro konkrétní typ světelného zdroje musí pro každou regulační hladinu zaručit stejnou hodnotu světelného toku. Pro lineární zářivky je dolní limit regulace na 1% příkonu světelného zdroje, u kompaktních zářivek je tato hranice na 3% příkonu daného světelného zdroje.

V Tab. 12.2 jsou uvedeny druhy regulovatelných DALI elektronických předřadníků od nejznámějších výrobců pro zářivky T8.

Tab. 12.2: Příklady regulovatelných DALI elektronických předřadníků

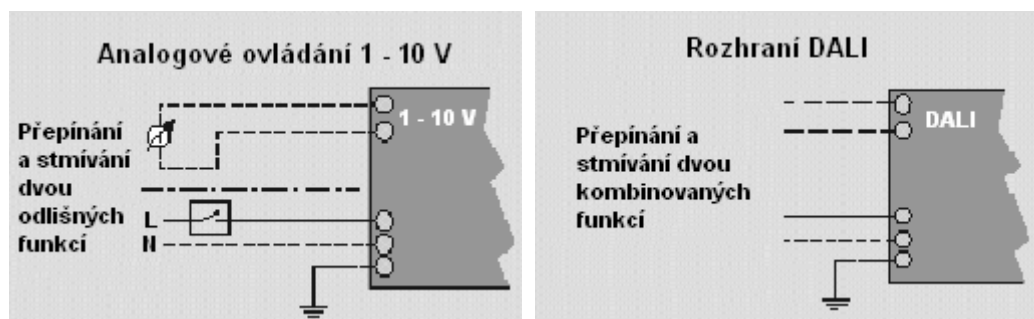
Typ zářivky	HELVAR	PHILIPS	TRIDONIC
1x18W	EL1x18HFD	HF-R DALI 118 TLD	PCA 1/18 EXCELone4all
1x36W	EL1x36HFD	HF-R DALI 136 TLD	PCA 1/36 EXCELone4all
1x58W	EL1x58HFD	HF-R DALI 158 TLD	PCA 1/58 EXCELone4all

Přednosti instalace se stmívatelnými elektronickými předřadníky v protokole DALI:

- adresování – 64 adres je možno řídit nezávisle jedním řídícím vedením
- skupiny – nastavení 16 skupin, jedna adresa může být přiřazena více jak jedné skupině
- scény – 16 nezávislých skupin lze uložit v každé jednotce (předřadník/konvertor nebo stmívač) pro rozdílné funkce a scény, zpoždění může být programováno pro každou adresu individuálně
- zpětná informace - stav DALI systému může být kontrolován softwarem - stav předřadníku (zapnuto / vypnuto), zátěž zářivky (%), stav zářivky, (chyba / předřadník ve stavu stand-by)
- digitální spínání - svítidla mohou být spínána do stavu „zapnuto – vypnuto“ řídícím signálem, spínané a stmívatelné okruhy jsou nezávislé
- flexibilita – instalovanou soustavu lze snadně přenastavit podle změny užívání prostoru
- možnost záměny polarity řídícího signálu

Tab. 12.3: Porovnání analogového ovládání 1-10 V versus DALI

System řízení elektronického předřadníku	Analogové ovládání 1 - 10 V	DALI
galvanické oddělení řídicího rozhraní	ano	ano
dvoudrátové vedení	ano	ano
rozsah stmívání 1...100 %	ano	ano
adresné řízení	ne	ano
zpětné hlášení	ne	ano
vypínat jednotky pomocí rozhraní	ne	ano
přepínání a stmívání dvou funkcí	ano	ano
skupinové, individuální a vysílací adresy	ne	ano
paměť na uložení scén	ne	ano
programovatelný průběh stmívání	ne	ano
napojení na systém správy budov pomocí konvektorů	ne	ano
snadná nová konfigurace systému	ne	ano
snadná integrace nových komponentů	ne	ano



Obr. 12.8: Přepínání a stmívání dvou funkcí

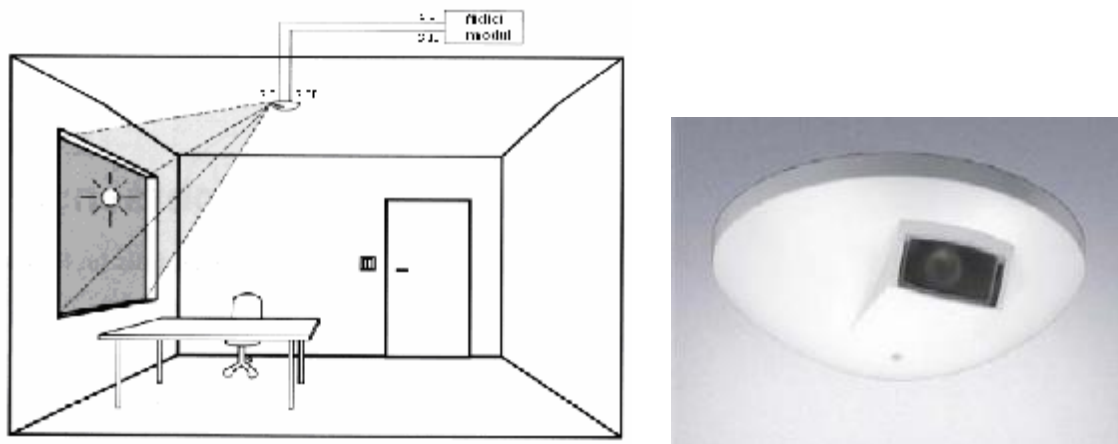
12.4. Senzory

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.

12.4.1. Světelné senzory

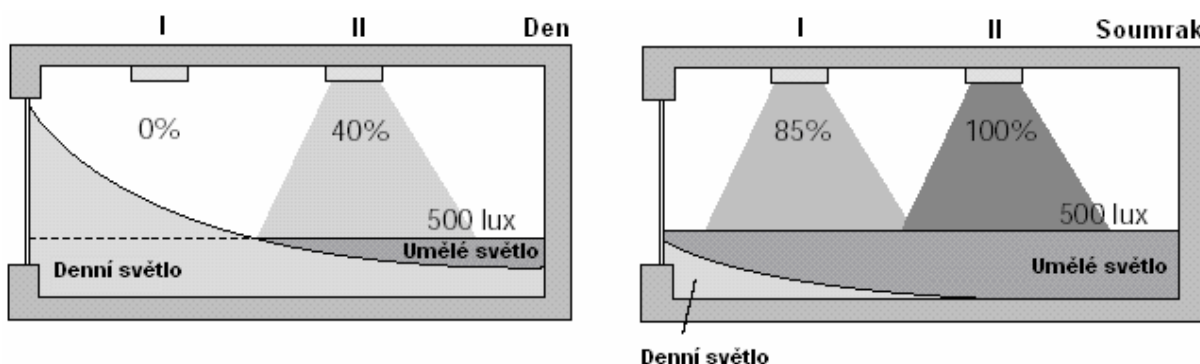
Světelné senzory používají pro snímání intenzity osvětlení především fotodiody anebo fototranzistory. Některé typy senzorů mohou přímo ovládat stmívatelné elektronické předřadníky, přičemž nastavení referenční hodnoty osvětlenosti se provádí přímo na senzoru. Napájení senzoru se provádí přímo z předřadníků nebo z řídicích jednotek.

Příklad použití světelného senzoru typ LSD pro snímání osvětlení vyplývá z Obr. 12.9.



Obr. 12.9: Senzor LSD

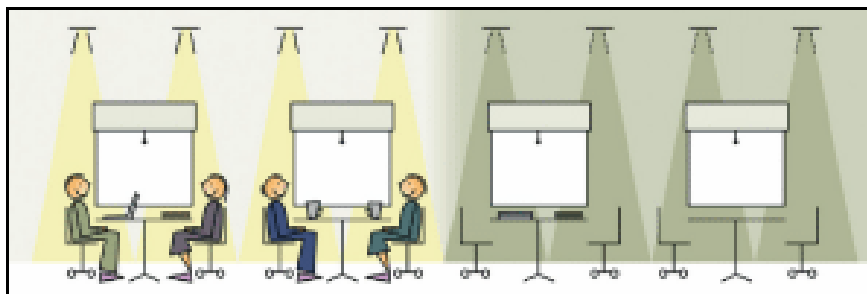
Pomocí řídicí jednotky může čidlo ovládat dvě skupiny svítidel (I, II) tak, aby intenzita osvětlení v místnosti byla na konstantní hodnotě v průběhu celého dne, jak plyne z Obr. 12.10.



Obr 12.10: Řízení osvětlení na konstantní hladinu intenzity osvětlení

12.4.2. Kombinované senzory

Jsou to například senzory, pomocí kterých se reguluje úroveň osvětlení podle denního světla a zároveň podle přítomnosti osob. Obr. 12.11 naznačuje příklad funkce systému, kdy 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 příjemném světelném prostředí a provozovatelé mohou ušetřit náklady na spotřebu elektrické energie.



Obr. 12.11: Další příklad funkce senzorů

Součástí těchto kombinovaných senzorů mohou být také IR přijímače, pro dálkové ovládání osvětlovací soustavy, které ovšem slouží pouze ke zvýšení komfortu ovládání.

12.5. Inteligentní řídicí systémy

Inteligentní řídicí systémy pro správu budov se v principu neliší od jiných automatizovaných systémů řízení. Princip řízení spočívá ve vyhodnocování okamžitých stavů snímaných veličin, které se porovnávají s předem nastavenými hodnotami a na základě vyhodnocení se provede zpravidla samočinně regulační zásah nebo o stavu dané veličiny systém informuje obsluhu. Budovy s těmito systémy se nazývají tzv. inteligentní budovy. Komunikace mezi jednotlivými komponenty v systému probíhá většinou pomocí sběrnice (BUS), kterou se rozumí přenosové médium tvořené obvykle párem vodičů. Ke sběrnici jsou paralelně připojeni různí účastníci, kteří si po sběrnici vyměňují informace. Všechny přístroje této inteligentní instalace lze rozdělit do tří skupin a to na senzory, aktory a systémové přístroje:

- **senzory** - do této skupiny přístrojů patří tlačítkové spínače, senzory osvětlení, binární vstupy, infračervené (IR) přijímače, termostaty, senzory pohybu, požární hlásiče. Jsou to přístroje, které sledují události v systému, jako je například pohyb osob, změna sledované veličiny (intenzita osvětlení, teplota, tlak, vlhkost ap.). Jestliže dojde ke změně v systému senzor dává povel na sběrnici nebo do řídicí jednotky.
- **aktory (akční členy)** - tvoří skupinu přístrojů obsahující především výkonové spínače, binární výstupy a stmívače. Aktory mají za úkol zajistit provedení požadované operace, ke které dostaly povel ze společné sběrnice. Například při poklesu intenzity denního světla v místnosti dojde pomocí stmívače k zesílení umělého osvětlení.
- **systémové přístroje a komponenty** - mezi systémové přístroje patří především napáječe sběrnice (zdroje napětí pro elektronické obvody v přístrojích), vazební členy mezi jednotlivými úseky sběrnice, sběrnice zesilovače, logické automaty a řadiče, rozhraní pro připojení počítačů. Zajišťují základní funkce systému a vytvářejí jeho infrastrukturu.

Výhody sběrnice instalace oproti konvenční instalaci realizované s klasickými přístroji lze shrnout do těchto následujících bodů:

- úspora kabeláže, materiálu, provozních nákladů na energii a obsluhu
- jednoduchost instalace a projektu systému
- snadná změna nastavení uspořádání prvků instalace s ohledem na změnu dispozice
- zpětná kontrola od řízených prvků, snadná údržba

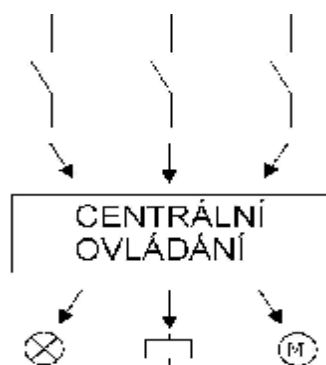
- možnost vizualizace stavu systému, možnost ovládání pomocí počítače, telefonu a internetu

Při využití všech uvedených vlastností řídicí systém z hlediska osvětlení umožňuje:

- centrální řízení osvětlovací soustavy celého objektu a jejích částí
- zajištění hospodárného provozu a úsporu elektrické energie
- regulaci intenzity osvětlení v závislosti na kvalitě denního osvětlení
- volbu charakteru a intenzity osvětlení pro jednotlivá pracoviště
- automatické ovládání osvětlení v závislosti na přítomnosti osob v prostoru
- centrální kontrolu přítomnosti osob v objektu
- snadnou změnu naprogramovaných variant pomocí ovládacích prvků
- ovládání dalších spotřebičů, souvisejících s osvětlením (žaluzie)
- kontrolu a ovládání všech prvků napojením na PC
- programové zablokování zvoleného režimu proti nežádoucí manipulaci
- pomocí BUS-systému snadnou změnou konfigurace a rozsahu soustavy
- zapojení do nadřazeného řídicího systému (BUILDING MANAGEMENT)

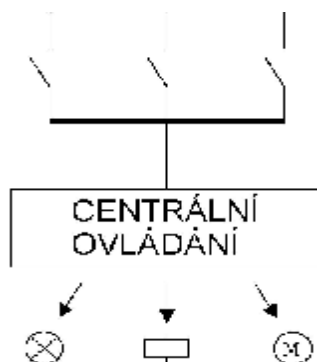
Rozlišujeme tři základní uspořádání komunikace v řídicích systémech:

- Centralizované sběrníkové systémy jsou řízeny z jednoho místa, kde se shromažďují informace o událostech v systému. U tohoto systému jsou vstupy (spínače, tlačítkové spínače, senzory atd.) a výstupy (svítidla, spotřebiče atd.) propojeny s centrálním řídicí jednotkou. Centrální řídicí jednotkou je počítač, který je trvale připojen na sběrníkový systém. Při poruše řídicího počítače dojde k selhání celého systému, což je nevýhodou tohoto systému.



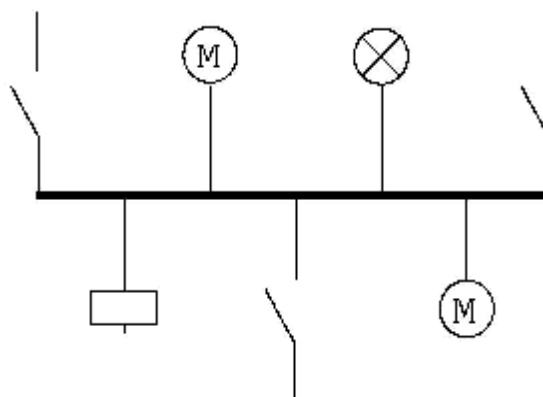
Obr. 12.12: Schéma centralizovaného systému

- Hybridní sběrníkové systémy, kde jsou vstupy (senzory) propojeny na sběrnici a výstupy jsou hvězdicově připojeny na řídicí jednotku jako u centralizovaných sběrníkových systémů.



Obr. 13.13: Schéma hybridního systému

- Decentralizované sběrníkové systémy jsou založeny na komunikaci po sběrnici bez nutnosti použití centrální jednotky, přístroje na sběrnici se oslovují navzájem. Každý účastník má v sobě integrovaný mikropočítač, který zpracovává signály.



Obr. 12.13: Schéma decentralizovaného systému

Literatura:

- [12.1] Plch J.: Světelná technika v praxi, Praha, 1999.
- [12.2] Sokanský K.: Inteligentní řízení osvětlovacích soustav vnitřního osvětlení, Publikace ČEA, Ostrava 2004.
- [12.3] INGE Opava firemní katalog, www.inge.cz
- [12.4] TRIDONIC.ATCO firemní katalog, www.tridonicatco.com
- [12.5] PHILIPS firemní katalog, www.philips.cz

13. RACIONALIZACE V OSVĚTLOVÁNÍ KANCELÁŘSKÝCH, ŠKOLNÍCH A BYTOVÝCH PROSTOR

13.1. Úvod

Velmi důležitou složkou kvality životního prostředí ve vnitřních prostorech budov je jejich osvětlení, které vytváří předpoklady pro vnímání okolí zrakem. Člověk dostává v průměru více než 90 % informací právě prostřednictvím zraku a je důležité, aby byl jejich přenos nejrychlejší, nejmenším počtem chyb a nejmenší námahou.

Dobré osvětlení je podmínkou pro optimální zrakový výkon a pocit pohody jak při práci, tak při trávení volného času, zábavě, rekreaci a odpočinku.

Přiměřené osvětlení má navíc velmi závažné mimozrakové účinky na člověka, podmiňuje jeho zdravý vývoj, zdravotní stav a odolnost proti nepříznivým vlivům prostředí. Při dlouhotrvajícím pobytu člověka v prostředí bez dostatečného osvětlení mohou vznikat zdravotní obtíže.

Osvětlení je velmi důležité i z ekonomického hlediska, neboť jeho řešení ovlivňuje energetickou bilanci budov, spotřebu energií i provozní náklady. Nepřímo se osvětlení podílí na hospodárnosti užívání budov tím, že na něm je závislý pracovní výkon, kvalita práce a její produktivita, zdravotní stav a nemocnost uživatelů budov, počet úrazů a jejich závažnost. Na řešení osvětlení jsou závislé tepelné ztráty, zisky osvětlovacími otvory a spotřeba elektrické energie na umělé osvětlení při nedostatku denního osvětlení.

Převážná většina vnitřních prostorů budov má jak denní, tak i umělé osvětlení; tyto dva druhy osvětlení na sebe úzce navazují a často působí i současně. Proto by zákonitě mělo být řešeno denní i umělé osvětlení ve vzájemné vazbě jak z hlediska vytváření zrakové pohody a podmínek dobrého vidění za všech stavů venkovního osvětlení během celého roku, tak z hlediska volby nejhospodárnějšího řešení co do spotřeby všech druhů energií i provozních nákladů.

V současné době se často navrhuje denní a umělé osvětlení odděleně, bez potřebné koordinace, a tím vznikají nedostatky jak v kvalitě osvětlení, tak v hospodárnosti. Tento stav je do určité míry podporován odděleným přístupem k tvorbě normativních dokumentů, u nichž mnohdy chybí vzájemné vazby jak u nás, tak i v zahraničí.

Závažné nedostatky se objevují v návrzích denního i umělého osvětlení v nedostatečném posuzování vzájemných vztahů a souvislostí osvětlení s ostatními faktory ovlivňujícími prostředí v budovách, dále pak v neúplném vyhodnocování kvality osvětlení ze všech hledisek, předepsaných normativními dokumenty.

13.2. Energetický význam denního osvětlení

Využití slunečního záření ve formě oblohového difuzního světla a ve formě přímého slunečního světla pro denní osvětlení, resp. pro proslunění vnitřních prostorů budov je jedním z nejhospodárnějších způsobů získávání sluneční energie pro potřeby lidí. Tato energie je k dispozici bez nezbytnosti její nákladné akumulace nebo transformace a slouží lidem od nejstarších dob.

Energetický přínos slunečního záření pro **denní osvětlení** je velmi významný, neboť v našich geografických podmínkách v oblasti zeměpisné šířky 50° dopadne za jeden rok na vodorovný osvětlovací otvor o ploše 1 m^2 při úrovni venkovní osvětlenosti větší než 5000 luxů průměrně celkové množství denního světla $47 \cdot 10^6 \text{ lmh}$ (lumenhodin).

Toto množství světla ovšem není během roku rozloženo pravidelně, ale podle zdánlivých drah slunce a průměrné oblačnosti. Během roku kolísá tak, že nejdelší denní doba s potřebnou úrovní denního osvětlení je okolo letního slunovratu (přibližně 13 hodin denně), nejkratší v době zimního slunovratu (jen asi 4 hodiny denně).

Z tohoto množství světla se do vnitřního prostoru budovy dostane pouze část vlivem ztrát v konstrukci osvětlovacího otvoru a vlivem znečištění jejích povrchů. U běžných svislých oken a u čočkových světlíků je to přibližně jedna polovina, u sedlových světlíků asi jedna třetina.

Při posuzování energetického přínosu denního osvětlení se hodnotí spotřeba elektrické energie, nezbytná pro nahrazení uvedeného množství denního světla umělým.

Při přepočtu na spotřebu elektrické energie při umělém osvětlení se vychází z měrného výkonu uvažovaných světelných zdrojů, který může být velmi rozdílný. Rozdílná je i spotřeba. Proto se jako charakteristické předpokládá jednak osvětlení hospodárnými výbojovými světelnými zdroji (zářivkami), jednak osvětlení žárovkami.

Při náhradě celoročního denního osvětlení vodorovným osvětlovacím otvorem o ploše 1 m^2 umělým osvětlením hospodárnými výbojovými světelnými zdroji by byla spotřeba elektrické energie asi 500 kWh, při osvětlení žárovkami asi 1200 až 1500 kWh (podle druhu a příkonu žárovek).

Svislým osvětlovacím otvorem o ploše 1 m^2 bude spotřeba energie asi 200 kWh při použití výbojových světelných zdrojích a asi 500 až 600 kWh při použití žárovek.

Při hodnocení energetického přínosu denního osvětlení je ovšem nezbytné posuzovat i skutečnou dobu jeho využití během roku, která může být u různých druhů budov a vnitřních prostorů velmi odlišná.

V budovách s **nepřetržitým provozem** (například energetika, některé druhy výrobních a provozních budov a služeb) je průměrná roční doba dostatečné úrovně denního osvětlení průměrně asi 3500 hodin.

V běžných **jednosměnných provozech** s odečtením sobot a nedělí je roční doba využití denního světla přibližně 2000 až 2500 hodin (v závislosti na začátku a konci pracovní doby).

Ve **školách** se roční doba využití s odečtením prázdnin podle typu škol, doby vyučování a využití pro zájmové a mimoškolní činnosti pohybuje převážně mezi 1500 až 1600 hodinami.

Orientačně lze jako příklad uvést, že v kancelářích se průměrný energetický přínos denního osvětlení svislým osvětlovacím otvorem o ploše 1 m^2 pohybuje mezi 120 až 150 kWh/rok.

Jinou metodou pro stanovení energetického přínosu denního osvětlení je odvozování z poměru plochy osvětlovacího otvoru, nezbytné pro docílení potřebné úrovně osvětlení pro danou zrakovou činnost, k osvětlované ploše vnitřního prostoru.

Při středně zrakově obtížných činnostech, vyžadujících při horním denním osvětlení průměrnou hodnotu činitele denní osvětlenosti 5 %, se otvorem o ploše 1 m² osvětlí plocha přibližně 10 m². Při svislých osvětlovacích otvorech a bočním osvětlení s minimální hodnotou činitele denní osvětlenosti 1,5 % se osvětlí plocha jen asi 3,5 m².

Průměrný příkon umělého osvětlení na jednotku osvětlované plochy, který se při osvětlenosti 300 lx a použití zářivek pohybuje většinou mezi 10 až 12 W.m⁻² (v závislosti na zvolené osvětlovací soustavě, svítidlech, zdrojích atd.). Podle stanovené celkové roční provozní doby pak lze vypočítat i roční spotřebu elektrické energie.

Velmi významně se z energetického hlediska uplatňuje přímé sluneční záření, vnikající osvětlovacími otvory do vnitřních prostorů budov, tedy **tepelné zisky**.

V letním období s vysokými teplotami venkovního vzduchu jsou tepelné zisky ze slunečního záření převážně nežádoucí, protože mohou zhoršovat tepelnou pohodu ve vnitřních prostorech. Během **topného období** jsou tepelné zisky významným přínosem k vytápění budovy a podstatně zlepšují tepelnou a energetickou bilanci budovy.

Průměrné množství energie, které dopadne během ročního topného období na plošnou jednotku 1 m² osvětlovacích otvorů v našich geografických a klimatických podmínkách na 50° zeměpisné šířky při různém sklonu a orientaci otvorů je:

- vodorovný otvor 343 kWh/rok,
- svislý otvor orientovaný na jih 417 kWh/rok,
- svislý otvor orientovaný na východ nebo na západ 211 kWh/rok,
- svislý otvor orientovaný na sever 72 kWh/rok.

Z tohoto množství energie pronikne do vnitřního prostoru větší část (podle druhu konstrukce osvětlovacího otvoru), část se odrazí mimo budovu a část se pohltí konstrukcí a vyzáří se do vnitřního prostoru a mimo budovu.

Z uvedených hodnot je zřejmé, že nejúčinnější otvory z hlediska tepelných zisků v topném období jsou svislé (nebo mírně nakloněné) orientované na jih, následují otvory vodorovné. Účinné jsou i svislé otvory orientované na východ nebo na západ, protože průměrná výška slunce nad obzorem v topném období je dopoledne a odpoledne menší a záření proniká hluboko do vnitřních prostorů.

13.3. Optimalizační návrh denního osvětlení

Denní osvětlení vnitřních prostorů budov musí za všech venkovních situací a stavů oblohy během roku vyhovovat pro dané nebo předpokládané zrakové činnosti a jejich rozmístění. Vzhledem k neustálé proměnlivosti denního osvětlení podle výšky slunce nad obzorem a podle stavu oblačnosti se požadavky na úroveň denního osvětlení stanoví pomocí činitele denní osvětlenosti.

Ve vnitřních prostorech s trvalou neměnnou funkcí se požadované hodnoty činitele denní osvětlenosti stanoví podle zrakové obtížnosti nejnáročnějších činností. V takových prostorech, kde se předpokládají změny zrakových činností, nebo kde není funkční náplň

přesně stanovena, se požadavky na úroveň denního osvětlení stanoví podle předpokládaných převažujících zrakových.

Stanovení potřebné úrovně se musí věnovat odpovídající pozornost již v projektové přípravě, protože zvýšení úrovně denního osvětlení v realizované budově je velmi obtížné a nákladné.

Ve vnitřních prostorech, v nichž by nadměrná velikost osvětlovacích otvorů zvyšovala energetické nároky budovy nebo nepříznivě ovlivňovala pohodu prostředí, se osvětlovací otvory **nenavrhují větší**, než je potřebné pro splnění požadavků na úroveň denního osvětlení podle předpokládaných zrakových činností.

Při návrhu denního osvětlení je ovšem nutné posoudit nejen současný stav okolí, ale také **možnost pozdějších změn** podle podmínek územně - plánovací dokumentace.

Osvětlovací soustavy pro denní osvětlení je možné rozlišit podle umístění osvětlovacích otvorů v konstrukci budovy.

Boční osvětlení je nejčastější osvětlovací soustavou, protože převážná většina budov má s ohledem na využití stavebního pozemku a splnění stavebního programu větší počet podlaží. U takových budov je kromě nejvyššího podlaží umístění osvětlovacích otvorů v obvodové konstrukci budovy prakticky jedinou možností (pomineme-li přívod denního světla pomocí tubusových světlovodů). Jednopodlažní budovy mají velmi často boční osvětlení, zejména při menších hloubkách.

Charakteristické pro boční osvětlení je:

- vysoká úroveň osvětlení v blízkosti osvětlovacích otvorů,
- plynulý pokles úrovně osvětlení směrem do hloubky, nejprve velmi rychlý, dále již pozvolný, k minimálním hodnotám u zadní stěny, kde již převládá odražené světlo,
- převažující směr osvětlení ze strany osvětlovacích otvorů.

Boční osvětlovací otvory jsou vzhledem ke směru prostupu světla z oblohy pod malým úhlem a tedy z části oblohy s nižším jasnem podstatně méně účinné, než otvory horní ve střešní konstrukci. Navíc je často obloha stíněna okolními objekty, které snižují vstup světla do vnitřního prostoru. Proto musí být **plocha bočních osvětlovacích otvorů** pro vyhovující osvětlení určitých zrakových činností podstatně **větší**, než otvorů horních.

Z těchto důvodů se ve vnitřních prostorech s bočním denním osvětlením využívá hospodárně **odstupňované denní osvětlení** tak, že se v prostoru v blízkosti osvětlovacích otvorů s vysokou úrovní osvětlení umístí zrakově obtížné činnosti s vysokými požadavky (například přesné pracovní činnosti) a ve zbývajících částech činnosti méně obtížné (například komunikace, odkladní prostory).

Boční osvětlovací otvory se umísťují podle možnosti tak, aby jejich **horní hrana** byla **nejvýše**, světlo procházelo do vnitřního prostoru pod největším úhlem a využívalo se tak většího jasů výše položených částí oblohy. Přitom je nutno pamatovat na možnost upevnění případných regulačních zařízení na vnitřní straně osvětlovacího otvoru.

Spodní hrana osvětlovacích otvorů bývá v úrovni osvětlované plochy nebo jen o málo výše, pokud není z nějakých důvodů požadována větší výška parapetu (například z bezpečnostních

důvodů proti vypadnutí z okna). Snížení spodní hrany otvorů pod úroveň osvětlované roviny má pro zvýšení úrovně denního osvětlení jen malý význam, neboť světlo prochází do vnitřního prostoru jen pod malým úhlem a na osvětlovanou rovinu se dostává pouze vícenásobným odrazem. Zisk světla touto částí osvětlovacího otvoru je jen malý, ale znamená znatelné zvětšení plochy otvoru se všemi ekonomickými a energetickými důsledky.

Výhodné je použití **vícestranného** bočního osvětlení tam, kde je vnitřní prostor vymezen z více stran obvodovou konstrukcí. Zejména **dvoustranné** osvětlení osvětlovacími otvory v protilehlých stěnách umožňuje docílit vyšší úrovně denního osvětlení ve vnitřních prostorech s větší hloubkou. Přitom mohou být osvětlovací otvory navrženy tak, že na jedné straně jsou otvory s větší plochou jako hlavní, a na druhé straně jsou přidavné menší otvory (s vyšším parapetem), které jsou určeny pro zvýšení úrovně osvětlení v této části tak, aby bylo dosaženo požadované minimální hodnoty činitele denní osvětlenosti při zachování potřebné rovnoměrnosti osvětlení. Takové osvětlení se uplatňuje zejména v učebnách a posluchárnách škol, ve velkoprostorových kancelářích, v tělocvičnách, krytých bazénech, v prodejnách a podobných prostorech.

Horní osvětlení je charakterizováno umístěním osvětlovacích otvorů ve střešní konstrukci jednopodlažní budovy, nebo v nejvyšším podlaží vícepodlažní budovy. Zpravidla jsou tyto otvory umístěny rovnoměrně nad celou osvětlovanou plochou s rovnoměrným osvětlením. Podle funkce vnitřního prostoru může být navrženo i osvětlení odstupňované a to podle rozmístění diferencovaných zrakových činností.

Horní osvětlení je podstatně **účinnější** než boční vzhledem k využití části oblohy v zenitu s nejvyšším jasnem a velkém úhlu, pod kterým dopadá světlo z oblohy na osvětlovanou plochu ve vnitřním prostoru. Pro určitý druh zrakových činností proto stačí podstatně menší plocha osvětlovacích otvorů, než u bočního osvětlení, při vodorovných osvětlovacích otvorech přibližně jedna třetina plochy.

Rozložení světla ve vnitřním prostoru u horního osvětlení závisí na sklonu osvětlovacích otvorů. U vodorovných otvorů převažuje osvětlení shora, u šikmých a svislých otvorů je větší podíl osvětlení ze strany.

Nevýhodou horního osvětlení je skutečnost, že chybí výhled z vnitřního prostoru vodorovným směrem, čímž je omezen optický kontakt s okolím budovy. To je nežádoucí hlavně u vnitřních prostorů s menšími půdorysnými rozměry.

Kombinované denní osvětlení vzniká použitím bočních i horních osvětlovacích otvorů v jednom vnitřním prostoru. Takové osvětlení je časté u jednopodlažních budov. U vnitřních prostorů velkých půdorysných rozměrů se horním osvětlením docílí určité úrovně osvětlení v celém prostoru. Bočními osvětlovacími otvory se zvýší úroveň osvětlení v blízkosti obvodové stěny pro zrakově obtížné činnosti. Kombinované osvětlení může vhodně spojovat výhody obou systémů, zejména vysoké účinnosti horního osvětlení a výhledu bočními osvětlovacími otvory do okolí budovy.

Osvětlovací otvory musí mít takové rozměry, aby se jimi dosáhlo potřebné úrovně denního osvětlení. U bočních osvětlovacích otvorů je nejúčinnější jejich horní část.

Pokud je osvětlovacích otvorů ve vnitřním prostoru více, volí se jejich rozměry a vzájemné vzdálenosti tak, aby byla zachována požadovaná rovnoměrnost osvětlení. Zejména u bočních

osvětlovacích otvorů vznikají při větší šířce meziokenních pilířů místa s nižší úrovní osvětlení, čímž se zhoršuje rovnoměrnost osvětlení ve směru rovnoběžně s okenní stěnou.

Sklon osvětlovacích otvorů je významným činitelem, protože na něm závisí množství světla, které proniká do vnitřního prostoru. Nejvíce světla proniká vodorovným otvorem, u šikmých otvorů klesá s úhlem sklonu a nejmenší je u svislých otvorů (zhruba jedna třetina ve srovnání s vodorovnými). Podle toho se také volí sklon horních osvětlovacích otvorů, kde se zároveň musí vzít v úvahu požadavky na převažující směr osvětlení a na jeho rovnoměrnost.

Závažným činitelem u šikmých a vodorovných osvětlovacích otvorů je vliv **znečištění** venkovních povrchů konstrukce, které může velmi podstatně omezovat prostup světla do vnitřního prostoru. Nejmenší znečištění mají svislé povrchy, které mají samočisticí schopnost, jsou-li vystaveny vlivům povětrnosti, takže hodnota znečištění nepřekročí ani po delší době určitou hodnotu, závislou na stupni znečištění vzduchu (přibližně 0,8). U šikmých povrchů otvorů znečištění se zmenšujícím se sklonem stoupá a největší znečištění je u vodorovných povrchů (činitel ztrát světla přibližně 0,6 při pravidelném čištění). Navíc toto znečištění časem stále stoupá, takže při zanedbání údržby může osvětlení zcela znehodnotit.

Konstrukce osvětlovacích otvorů musí splňovat více požadavků, zejména na izolaci vnitřního prostoru od vnějších nepříznivých vlivů, omezení tepelných ztrát, na odolnost proti vlivům počasí, často na větrání, na snadné ovládání a regulaci. Jedním ze základních požadavků však je, aby konstrukce propouštěla co nejvíce světla a plnila tak co nejlépe svou základní funkci.

Prostup světla konstrukcí osvětlovacího otvoru je omezován:

- nosnou konstrukcí osvětlovacího otvoru nepropouštějící světlo, která má být co nejsubtilnější nejen v rovině osvětlovacího otvoru, ale i v kolmém směru,
- materiálem propouštějícím světlo, nejčastěji sklem nebo plastem.

Běžné dřevěné a plastové konstrukce osvětlovacích otvorů mají hodnotu činitele ztrát světla nosnou konstrukcí, která se zjišťuje jako podíl plochy zasklení k celkové (skladebné) ploše osvětlovacího otvoru, podle použitého materiálu, rozměrů otvoru a jeho dělení, mezi 0,6 až 0,7. Kovové konstrukce jsou vzhledem k větší pevnosti materiálu subtilnější a mají příznivější hodnoty - až 0,9.

Vlastnosti **materiálů propouštějících světlo**, použitých pro osvětlovací otvory, mají pro funkci osvětlovacích otvorů zásadní význam. Hodnota **činitele prostupu světla** těchto materiálů rozhoduje o účinnosti osvětlovacího otvoru.

Nejčastěji používané čiré tabulové sklo propouští více než devět desetin dopadajícího světla do vnitřního prostoru. Jiné materiály však mají hodnoty podstatně menší, a proto musí být při jejich použití **velikost osvětlovacích otvorů úměrně větší** pro docilení stejné úrovně denního osvětlení.

To se týká zejména materiálů, které mají ve zvýšené míře odrazet tepelné záření (reflexní materiály), nebo ho pohlcovat (absorpční, determální materiály) a tím chránit vnitřní prostor před nadměrnou tepelnou zátěží. Při použití těchto materiálů je nezbytné znát jejich přesné technické vlastnosti a navrhovat velikost osvětlovacích otvorů v souladu s nimi. Některé z těchto materiálů mají hodnoty činitele prostupu světla velmi nízké a podstatně omezují denní osvětlení.

Pro orientaci jsou uvedeny v *Tab. 13.1* průměrné hodnoty činitele prostupu světla běžně používaných čistých materiálů ve směru kolmo k jejich povrchu. Při více vrstvách materiálu se hodnota činitele prostupu světla stanoví součinem hodnot pro jednotlivé vrstvy.

Tab. 13.1: Hodnoty činitele prostupu světla

Druh materiálu	Činitel prostupu světla
Číré tabulové sklo 3 až 4 mm	0,92
Mdlé sklo (rozptylné)	0,75 - 0,80
Vzorované sklo	0,85 - 0,90
Drátové sklo 6 až 7 mm	0,60 - 0,86
Plast (akrylát) čirý	0,85 – 0,92
Plast (akrylát) rozptylný	0,60 – 0,80
Reflexní skla	0,55 – 0,65
Absorpční (netermální) skla	0,35 – 0,70
Skleněné tvárnice jednovrstvé	0,86
Skleněné tvárnice s dutinou	0,80

13.4. Optimální návrh umělého osvětlení

Návrh umělého osvětlení případně doplňujícího umělého osvětlení ve vnitřních prostorech s nedostatečným denním osvětlením musí vždy vycházet z funkce vnitřního prostoru a daných zrakových činností; přitom musí respektovat všechny okolnosti, které podmínky vidění a zrakovou pohodu ovlivňují.

Pro účely umělého osvětlení se spotřebuje sice relativně menší část elektrické energie (ve vyspělých státech přibližně jedna desetina celkového množství). Přesto znamenají úspory v oblasti umělého osvětlení významnou položku v celkové spotřebě.

Hospodárnost umělého osvětlení závisí na celé řadě činitelů, z nichž nejzávažnější jsou:

- světelné zdroje,
- svítidla,
- předřadné přístroje,
- osvětlovací soustava, její ovládání a regulace,
- vlastnosti vnitřního prostoru,
- údržba.

13.4.1. Vlastnosti světelných zdrojů

Vlastnosti světelných zdrojů jsou jedním ze základních činitelů pro optimalizaci umělého osvětlení.

Výběr nejvhodnějších světelných zdrojů pro daný případ musí vycházet z posouzení všech okolností a podmínek tak, aby při splnění požadavků na kvantitu i kvalitu osvětlení a zrakovou pohodu bylo tohoto cíle dosaženo co nejhospodárnějším způsobem. Vlastnosti světelných zdrojů je možné rozčlenit do dvou skupin, vzájemně úzce souvisejí:

- vlastnosti ovlivňující kvalitu osvětlení, podmínky vidění a zrakovou pohodu, mezi něž patří zejména spektrální složení světla, teplota chromatičnosti, stupeň jakosti podání barev a někdy i způsob usměrnění světelného toku,
- vlastnosti ovlivňující hospodárnost osvětlení, mezi nimiž jsou nejdůležitější měrný výkon světelného zdroje a tím spotřeba elektrické energie, život světelného zdroje a jeho cena.

Z dostupných světelných zdrojů jsou potom nejvhodnější ty, které při splnění **všech požadavků na kvalitu** osvětlení jsou za daných okolností **nejhospodárnější** z hlediska spotřeby energie a investičních i provozních nákladů.

Požadavky na spektrální složení světla zdrojů jsou dány jednak funkcí daného vnitřního prostoru, účelem osvětlení a druhem zrakových činností, jednak předpokládanou kombinací s jiným druhem osvětlení, zejména spolupůsobením s denním světlem buď při přechodech mezi denním a umělým světlem při rozednívání a stmívání, nebo trvalou součinností při přisvětlování během dne v prostorech s nedostatečným denním osvětlením.

Při součinnosti umělého a denního osvětlení, zejména při nedokonalém promísení obou složek, je vhodné používat světelné zdroje blízké dennímu světlu, s teplotou chromatičnosti mezi 4 000 až 5 000 K.

Použití **žárovek** vzhledem k jejich nízkému měrnému výkonu, krátké době života, nízkým pořizovacím nákladům, indexu podání barev 100, okamžitému náběhu na jmenovitý světelný tok a teplé barvě světla je vhodné zejména v následujících aplikacích:

- krátká doba svícení
- málo frekventované vnitřní prostory
- osvětlovací soustavy s čidly přítomnosti osob s požadavky okamžitého náběhu jmenovitého světelného toku
- sociální zařízení s krátkou dobou svícení a požadavkem okamžitého náběhu jmenovitého světelného toku
- kanceláře (grafické studia) s vysokými nároky na index podání barev
- prostory s krátkou dobou svícení a s požadavky na teplé odstíny barev

Halogenové žárovky mají oproti žárovkám delší dobu života, vyšší měrný výkon, vyšší teplotu chromatičnosti, nicméně je lze používat ve všech aplikacích jako klasické žárovky s rozšířením o:

- světlomety se soustředěným světelným tokem
 - o bodové osvětlení
 - o nesvětlování nástěnek, obrazů atd.

Použití **kompaktních zářivek** je vhodné zejména jako náhrada světelných zdrojů ve stávajících svítidlech pro klasické žárovky s tím, že je nutné zdůraznit některé nevýhody, které této záměně mohou zabránit:

- poněkud větší rozměry než mají klasické žárovky,

- s většími rozměry kompaktní zářivky může souviset i změna vyzařovací charakteristiky svítidla,
- start kompaktní zářivky na cca. 50 % světelného toku,
- pulzní odběr proudu, což může způsobovat zejména u kancelářských a školních osvětlovacích soustavách přetěžování nulového vodiče.

Osvětlení **lineárními zářivkami** je díky své velké variabilitě výkonů a rozměrů, možnostem volby barev světla, vysokému měrnému výkonu, možnosti dosažení vysokého Ra a dlouhé době života v současné době de-facto univerzální osvětlení pro kancelářské a školské prostory. Jejich zásadní nevýhoda plynoucí z velké teplotní závislosti je u bytových, školních i kancelářských prostorech eliminována.

Nejzávažnější nevýhoda **halogenidových výbojek** jako světelných zdrojů je v jejich nemožnosti okamžitého (teplého) znovuzápalu. Dále je nutné zmínit i jejich velmi problematické stmívání. V současné době se tedy halogenidové výbojky používají pro nesvětlování nástěnek ve školských či kancelářských budovách a k nesvětlení obrazů a soch v prostorách bytových.

LED diody se v současné době svého bouřlivého vývoje používají zejména v nouzovém osvětlení a orientačním osvětlení v kancelářských a školských prostorech. V bytových prostorech jsou LED diody vhodné zejména na aplikace se změnami barvy světla pro vytváření různých atmosfér v jednom prostoru.

13.4.2. Předřadné přístroje

U **žárovek** má smysl uvažovat racionalizaci předřadných přístrojů pouze v souvislosti se stmíváním těchto světelných zdrojů. Stmívání žárovek je výhodné zejména v bytových prostorech na přizpůsobení atmosféry snížením intenzity osvětlení a snížením teploty chromatičnosti

U **halogenových žárovek** na nízké napětí je již předřadník nutností.

- Magnetické předřadníky (transformátory) je výhodné provozovat zejména tam, kde nedochází ke změnám napájecího napětí a zejména v aplikaci s krátkou dobou provozu.
- Elektronické transformátory mají oproti magnetickým transformátorům významnou výhodu v nezávislosti výstupního napětí na změnách vstupního napětí a v konstantním výstupu světelného toku, který je dán vysokou frekvencí napájecího napětí (30 - 40 kHz). Elektronické transformátory je tedy výhodné umísťovat do aplikací s možností kolísání napájecího napětí a pro osvětlování pohyblivých předmětů u kterých by mohl vzniknout stroboskopický jev.

U **kompaktních zářivek** s integrovanými předřadníky již racionalizace proběhla tak, že před několika lety upustili výrobci od osazování těchto zdrojů konvenčními předřadníky a nasadili elektronické předřadníky. Pro osazování těchto zdrojů je důležité sledovat jejich cenu v porovnání s délkou života, protože výrobci standardně vyrábějí několik řad těchto produktů, které se liší výběrem komponentů pro elektronické předřadníky a tím pádem i limitují délku života kompaktní zářivky.

Lineární zářivky se provozují stále s magnetickými předřadníky. Racionalizaci lze chápat ve změně magnetických za elektronické předřadníky.

Konvenční předřadníky lze beze zbytku nahradit předřadníky elektronickými. Veškeré výhody jsou popsány v předešlých kapitolách.

Nesmívatelnými předřadníky lze dosáhnout až 50% úspory elektrické energie. V kombinaci se zářivkami T5 lze dosáhnout až 60% úspor elektrické energie ve srovnání se stávajícími „starým“ osvětlovacími soustavami. Stmívatelnými elektronickými předřadníky lze však v kombinaci s čidly denního světla a přítomnosti osob dosáhnout až 80% úspory elektrické energie viz. *Obr. 11.9* při zaručení zvýšené kvality světelného toku a prodloužení doby života světelných zdrojů ve srovnání s konvenčními předřadníky.

Vzhledem k tomu, že **LED diody** jsou zcela nové moderní světelné zdroje, nelze o racionalizaci jejich předřadných přístrojů v současné době hovořit.

13.4.3. Řízení a regulace osvětlení

Racionalizace řízení osvětlovacích soustav pomocí regulace osvětlení musí probíhat v duchu jednoduché obsluhy. To znamená, že jakýkoliv systém regulace osvětlení, který od uživatele vyžaduje přílišnou obsluhu, nemůže být funkční a nelze s ním tím pádem dosáhnout požadovaných výsledků. Přináší zefektivnění a zkvalitnění provozu osvětlovací soustavy.

U bytových osvětlovacích soustav je třeba volit řízení buď takové, aby ho byl schopen zcela jednoduše ovládat každý člen rodiny, nebo zcela automatické. Totéž platí samozřejmě i pro kancelářské a školní prostory.

13.4.4. Svítidla

Jejich volba je zejména podmíněna požadavky na:

- vhodné **rozložení světelného toku** podle charakteru prostoru a zrakových činností i jejich rozmístění a podle zvolené osvětlovací soustavy,
- **omezení jasů** v určitých prostorových úhlech na takovou úroveň, aby svítidla nezpůsobovala oslnění,
- dostatečnou **účinnost**, závislou na ztrátách světla ve svítidle,
- **vzhled** a architektonické ztvárnění, odpovídající funkci vnitřního prostoru.

Při volbě svítidel se musí uvažovat **všechny** výše uvedené požadavky. Nesmí být omezena pouze na některé požadavky, jako je například výběr svítidla pouze podle jeho vzhledu pro bytové prostory.

13.4.5. Volba osvětlovací soustavy

Osvětlovací soustava se volí podle funkce vnitřního prostoru a charakteru i rozmístění zrakových činností. Při rovnoměrném rozmístění zrakových činností v celém prostoru je vhodné osvětlení **celkové**, kdežto při diferenciaci požadavků na úroveň osvětlení v různých částech prostoru je hospodárnější osvětlení **odstupňované**, případně **kombinované**, tj. celkové doplněné místním osvětlením na místech zrakových úkolů. U těchto druhů osvětlení je světelný tok lépe využít a plochy s menšími nároky na osvětlení mají také nižší úroveň osvětlení.

Zvlášť důležité z hlediska hospodárnosti je využití kombinovaného nebo odstupňovaného osvětlení tam, kde se požaduje vysoká úroveň osvětlení, například v kancelářích s velmi přesnými zrakovými činnostmi.

Podle usměrnění světelného toku ze svítidel lze rozlišit osvětlení **přímé**, u kterého směřuje více než devět desetin světelného toku dolů na osvětlovanou plochu, osvětlení **smíšené** se čtyřmi až šesti desetinami směřujícími dolů, a osvětlení **nepřímé** s méně než jednou desetinou (mezi nimi je ještě osvětlení převážně přímé a převážně nepřímé). Hospodárnost osvětlení a využití světelného toku ovšem závisí na tomto usměrnění světelného toku, ale navíc i na **odraznosti světla** vnitřních povrchů, zejména stěn a stropu, a na **tvaru vnitřního prostoru**, charakterizovaném zejména poměrem mezi jeho šířkou a výškou svítidel (případně stropu) nad osvětlovanou rovinou.

U každé osvětlovací soustavy však je nutné dbát na to, aby byly poměry jasů hlavních ploch ve vnitřním prostoru vyvážené bez nadměrných kontrastů. Musí tedy být přiměřeně osvětlené i povrchy stropu a stěn. Na druhou stranu však není vhodné zcela jednotvárné rozložení jasů a světelného toku, které vede k monotónnosti a únavě a znesnadňuje rozlišování tvaru a polohy předmětů. Osvětlovací soustava musí poskytovat osvětlení s dostatečnou **směrovostí** a **stínivostí**, které vytvoří potřebnou plasticitu osvětlení trojrozměrných objektů a docílí co největší kontrast jasů pozorovaného detailu a jeho bezprostředního okolí.

Energetickou účinnost osvětlovací soustavy je možné orientačně hodnotit pomocí **poměrného elektrického příkonu** ve W.m^{-2} , potřebného pro dosažení místně průměrné a časově minimální osvětlenosti 100 luxů. U moderních osvětlovacích soustav, využívajících energeticky úsporných světelných zdrojů, svítidel i dalších opatření, se hodnota poměrného příkonu na osvětlenost 100 luxů pohybuje v běžných pracovních a společenských prostorech podle tvaru vnitřního prostoru a dalších podmínek mezi 2 až 3 W.m^{-2} . Vyšší hodnoty znamenají, že osvětlovací soustava není hospodárna a že bude účelné ji rekonstruovat.

13.5. Racionalizace vyplývající ze vzájemné vazby denního a umělého osvětlení a energetické bilance budov

Optimalizace vzájemných vazeb denního a umělého osvětlení a jejich vztahu k energetické bilanci budovy je potřebná zejména:

- z hlediska kvality osvětlení a vytvoření podmínek zrakové pohody během celého roku,
- z hlediska úspor energií volbou nejhospodárnější varianty řešení návrhu budovy,
- z hlediska ekonomického volbou takového návrhu, při němž je souhrn investičních nákladů a provozních nákladů za dobu života budovy nejnižší.

Optimalizace kvality osvětlení a vytvoření co nejlepších podmínek zrakové pohody po dobu užívání budovy je prvotním hlediskem návrhu denního i umělého osvětlení.

V první řadě je nezbytné navrhnout **vyhovující denní osvětlení**. Pouze v případech odůvodněných závažnými příčinami je možné použít ve vnitřních prostorech s trvalým pobytem lidí **sdruženého osvětlení**, tedy přisvětlování doplňujícím umělým světlem během dne tam, kde je denní osvětlení z objektivních důvodů nedostatečné, nebo dokonce **pouze umělého osvětlení** v takových vnitřních prostorech, kde je denní osvětlení buď ze závažných důvodů nedostupné (např. vnitřní prostory v podzemních podlažích budov), nebo z funkčních důvodů nepřijatelné (např. z technologických důvodů, kdy je nezbytné udržovat zcela

konstantní podmínky vnitřního prostředí, nebo kdy může denní světlo škodlivě působit na materiály citlivé na světlo).

Umělé osvětlení se má vždy navrhovat v návaznosti na denní osvětlení a jeho změny tak, aby byla ve všech situacích dodržena potřebná úroveň i kvalita osvětlení s největší hospodárností.

Ve vnitřních prostorech s vyhovujícím denním osvětlením se umělé osvětlení uvádí v činnost při poklesu úrovně denního osvětlení pod minimální hranici venkovní osvětlenosti, stanovenou při jeho návrhu (5000 lx), a vypíná se opět při překročení této hranice po rozednění. Ve větších vnitřních prostorech je žádoucí volit osvětlovací soustavu umělého osvětlení tak, aby se mohlo zapínat a vypínat postupně podle změn úrovně denního osvětlení v různých částech vnitřního prostoru.

Ve vnitřních prostorech s bočním osvětlením je proto výhodné uspořádání svítidel do pásů rovnoběžných se stěnou s osvětlovacími otvory; tyto pásy se potom ovládají samostatně podle poklesu úrovně denního osvětlení.

Ve vnitřních prostorech s rovnoměrně rozloženým denním osvětlením je účelné upravit osvětlovací soustavu pro umělé osvětlení tak, aby bylo možné postupně zvyšovat nebo snižovat úroveň osvětlení v celém vnitřním prostoru (případně v jeho vymezené části) ovládáním určitého podílu rovnoměrně rozmístěných svítidel.

Nejvyšší míry racionalizace lze dosáhnout u osvětlovacích soustav nových. To znamená využít možnosti modelování denního osvětlení, umělého osvětlení a samozřejmě také jejich kombinací. Ve světelném projektu tak již lze zvážit možnosti využití denního světla a návrh umělého osvětlení přizpůsobit tak, aby bylo možné stmívat, respektive přepínat, jednotlivé okruhy umělého osvětlení tak, aby bylo dosahováno kvalitativních i kvantitativních požadavků na osvětlení nejen pomocí umělého světla, ale spolupůsobením denního a umělého osvětlení.

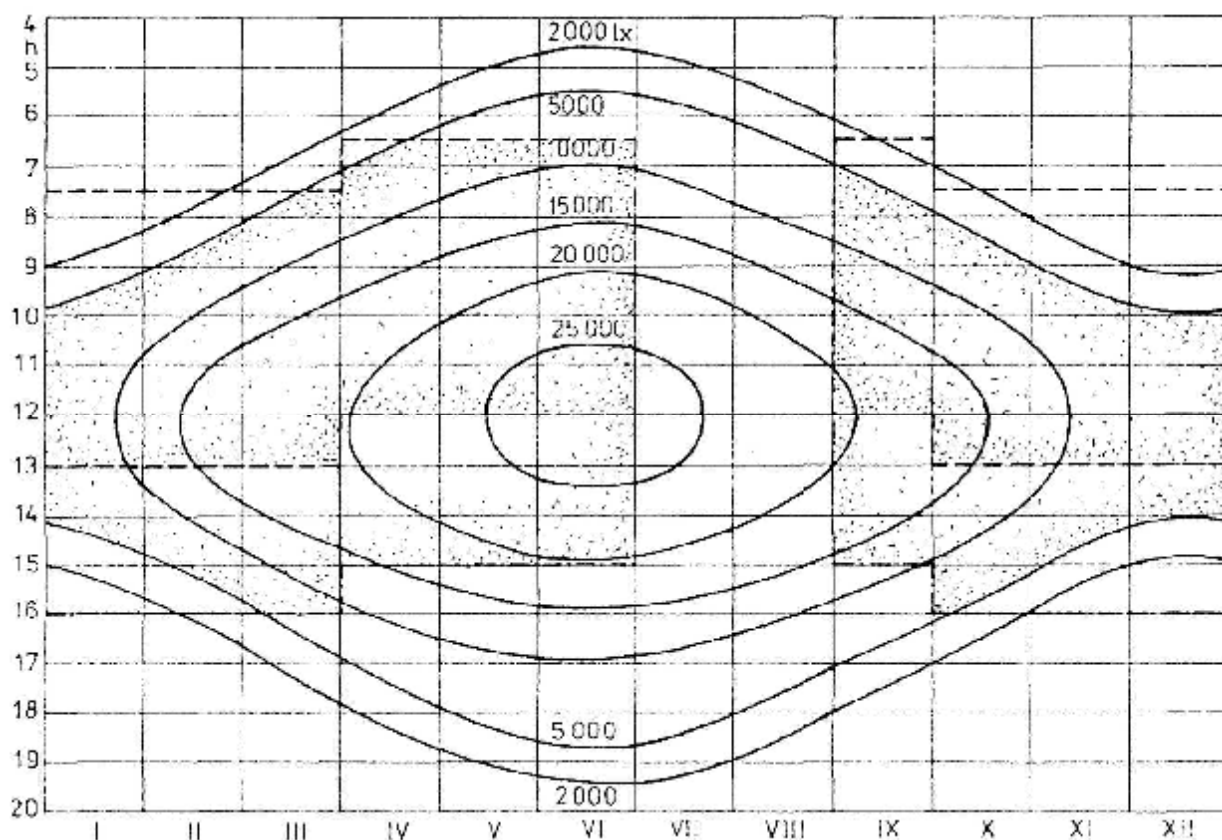
Při **sdrúženém osvětlení** se doplňující umělé osvětlení navrhuje podle obdobných zásad, se zvýšeným důrazem na úzkou vazbu s denní složkou osvětlení jak z hlediska kvality osvětlení (teplota chromatičnosti, index podání barev atd.), tak z hlediska ovládání podle změn úrovně denního osvětlení, neboť jde o trvalou součinnost obou složek.

Pro vzájemnou koordinaci denního a umělého osvětlení, případně obou složek sdrúženého osvětlení, je nezbytné, aby pro ně byla zvolena **stejná síť kontrolních bodů** pro výpočet v návrzích, v posudcích i pro měření.

Z hlediska úspor energie je důležitou veličinou **průměrná roční doba využití umělého osvětlení**. Ta určuje spotřebu elektrické energie na umělé osvětlení a je závislá na ročním **průběhu úrovně venkovní osvětlenosti oblohovým denním světlem**. Tento průběh byl pro naše geografické a klimatické podmínky stanoven na základě dlouhodobých měření a je znázorněn na *Obr. 13.1*.

Z tohoto průběhu je možné stanovit pro jakýkoliv způsob využití vnitřního prostoru podle denní, týdenní i roční doby potřeby osvětlení celkovou průměrnou roční dobu využití umělého osvětlení v daném konkrétním případě. Na grafu lze odečítat ke každému datu během celého roku denní doby, po které je průměrná venkovní osvětlenost vyšší, než požadovaná limitní hodnota 5000 lx, a při které je tedy denní osvětlení již vyhovující a není

zapotřebí umělého osvětlení. Je také ještě možné určit i přechodné stavy s nižší úrovní denního osvětlení, kdy je umělé osvětlení nezbytné jen v určité části vnitřního prostoru, nebo stačí jeho nižší úroveň (např. při úrovni venkovního denního osvětlení 2000 lx).



Obr. 13.1: Roční průběh průměrné venkovní osvětlenosti denním světlem při rovnoměrně zatažené obloze. Křivky v grafu vymezují průměrné úrovně venkovní osvětlenosti v luxech (2000 až 25 000 lx) během dne (od 4 do 20 hodin - stupnice vlevo) v průběhu celého roku (měsíce I až XII - stupnice dole). Čárkovaně je vyznačen příklad doby využití vnitřního prostoru ve škole s výukou od 7.30 do 13.00 hodin, čerchovaně je značena doba odpolední mimoškolní činnosti. Je znázorněn i posun hodin při letním čase a přestávka o hlavních prázdninách, tečkováním pak vyznačena doba, po kterou je umělé osvětlení nahrazeno denním.

Průměrná doba využití umělého osvětlení závisí ovšem také na úrovni denního osvětlení v celém vnitřním prostoru nebo v jeho jednotlivých částech. Čím je vyšší úroveň denního osvětlení vyjádřená hodnotami činitele denní osvětlenosti, tím je kratší roční doba využití umělého osvětlení. Podle zahraničních měření byla zjištěna tato průměrná závislost skutečné roční doby využití umělého osvětlení v kanceláři s úrovní osvětlenosti umělým světlem 300 lx a roční dobou využití kanceláře 2750 hodin (viz. Tab. 13.2):

Tab. 13.2: Skutečná roční doba využití umělého osvětlení v kanceláři

Hodnota činitele denní osvětlenosti (%)	Roční doba využití umělého osvětlení (h)
0,7	2750
1,0	2000
1,5	1500
3,0	1000
5,0	700

Tuto závislost je nutné brát v úvahu při návrhu denního a umělého osvětlení a optimalizaci jejich vztahu. Je zřejmé, že **intenzivní využití denního osvětlení** vede k **úsporám elektrické energie** na umělém osvětlení. Roční doba využití umělého osvětlení může při vyšších hodnotách činitele denní osvětlenosti klesnout až přibližně na **jednu čtvrtinu** proti řešení s velmi nízkými hodnotami nebo bez denního osvětlení.

Energeticky úsporné řešení však musí vycházet nejen z vyhodnocení vztahu mezi denním a umělým osvětlením, ale respektovat také vztahy k ostatním oborům podmínek prostředí, zejména k vytápění (případně chlazení), větrání, úpravě vzduchu, ochraně proti hluku i dalším vlivům z vnějšího i vnitřního prostředí.

Je však také třeba hodnotit vztah řešení denního osvětlení a velikosti osvětlovacích otvorů k **tepelným ztrátám**, vznikajícím menším tepelným odporem konstrukcí osvětlovacích otvorů ve vztahu k plnému plášti budovy. Často se jednostranně uvádějí pouze tyto zvýšené tepelné ztráty se snahou po jejich omezení zmenšováním osvětlovacích otvorů.

Pouze **objektivním posouzením** jak **zvýšených tepelných ztrát**, tak i **tepelných zisků** osvětlovacími otvory je možné dospět k energeticky optimálnímu řešení.

Tepelné ztráty osvětlovacími otvory jsou (kromě ztrát infiltrací a jinými způsoby výměny vzduchu) ovlivněny v rozhodující míře hodnotami **součinitele prostupu tepla** dané konstrukce, vyjádřenými ve $\text{W.m}^{-2}.\text{K}^{-1}$. Rozpětí těchto hodnot je velmi široké, podle použitého materiálu konstrukce, počtu vrstev propouštějících světlo (a tím i vzduchových mezer) a dalších opatření (například vrstev nebo fólií, zlepšujících tepelně technické vlastnosti konstrukce).

Pro výpočet tepelných ztrát se uvádějí hodnoty od $7 \text{ W.m}^{-2}.\text{K}^{-1}$ pro kovová jednoduchá okna přes $2,9 \text{ W.m}^{-2}.\text{K}^{-1}$ pro dvojitá dřevěná okna, až po hodnotu $1,7 \text{ W.m}^{-2}.\text{K}^{-1}$ pro dřevěná okna s trojitým zasklením.

13.6. Regulace denního a umělého osvětlení

Aby se dosáhlo během celého průběhu užívání budovy vyhovujícího denního i umělého osvětlení jak z hlediska kvality a potřebné úrovně, tak z hlediska hospodárnosti a energetické úspornosti, je nezbytná účelná regulace.

Denní osvětlení se v souladu s využitím vnitřních prostorů reguluje tak, aby se zamezilo nežádoucím jevům. Zejména jde o oslňování nadměrným jasnem osvětlovacích otvorů, které

jsou blízko směru pohledu uživatelů prostoru, a o zamezení vnikání přímého slunečního světla na taková místa vnitřního prostoru, kde by zhoršovala zrakovou pohodu. Zpravidla se současně reguluje i vnikání přímého slunečního záření, jež by mohlo vyvolávat nadměrnou tepelnou zátěž.

Pro regulaci denního osvětlení se musí volit takové prostředky, které příliš **neomezí denní osvětlení** v době, kdy je denního světla méně, zejména v zimním období při zatažené obloze. Nejvhodnější jsou způsoby umožňující **plynulou regulaci**, která poskytuje nejlepší přizpůsobení osvětlení funkčním požadavkům a momentální potřebě.

Nejčastěji se pro regulaci používají:

- žaluzie nebo rolety, umístěné na vnitřní straně nebo uvnitř konstrukce osvětlovacího otvoru. Při umístění na vnější straně se musí počítat s vlivy venkovního prostředí (vítr, znečišťování atd.) a s obtížnějším ovládáním,
- závěsy nebo záclony na vnitřní straně,
- pevné nebo pohyblivé clony,
- materiály usměrňující, rozptylující, částečně odražející nebo pohlcující světlo a záření, které ovšem mohou omezovat trvale prostup světla; velmi výhodné ale nákladné jsou materiály fotosenzitivní, které jsou průhledné, ale tmavnou při ozáření přímým slunečním zářením. Vnitřní povrchy žaluzií, rolet, závěsů a clon mají mít činitel odrazu světla na vnitřní straně přibližně tak velký, jako okolní stěny.

Regulace **umělého osvětlení** je náročná, pokud má být dosaženo optimální kvality a současně co největší hospodárnosti. V žádném případě však **nesmí** snaha po hospodárnosti osvětlení vést ke **zhoršení** kvality nebo úrovně osvětlení. Regulací se má docílit zejména:

- důsledného využití umělého osvětlení v souladu s funkčními požadavky, tj. s momentálním využitím vnitřního prostoru z hlediska obtížnosti zrakových úkolů a jejich rozmístění v prostoru,
- návaznosti umělého osvětlení na denní takovým způsobem, aby byla v celém průběhu dne i roku zachována potřebná úroveň i kvalita osvětlení a přitom bylo denní osvětlení plně využito, tedy aby umělé osvětlení nebylo zapínáno zbytečně.

13.7. Světlovody jako součást energeticky úsporných opatření

13.7.1. Energeticky úsporná opatření

V rámci energeticky úsporných opatření vešel v platnost zákon č. 409/2000 Sb. a s ním související vyhlášky, které upravují požadavky na hospodaření s energiemi a energetickou náročnost budov. Tento zákon stanovuje povinnosti a práva fyzických a právnických osob při nakládání s energiemi, jedná se především o energii elektrickou, zemní plyn a další paliva. Veškeré snahy vedou ke zvýšení energetické hospodárnosti a k větší ochraně životního prostředí. Zákon také definuje Energetický audit, což je soubor činností, jejichž výsledkem jsou informace o způsobu využívání energií v budovách (viz. *kap. 13.9*). Tento audit obsahuje mimo jiné i opatření, která vedou ke snížení energetické náročnosti budov, a určuje jejich závaznost.

V energetickém auditu budovy se sledují následující parametry:

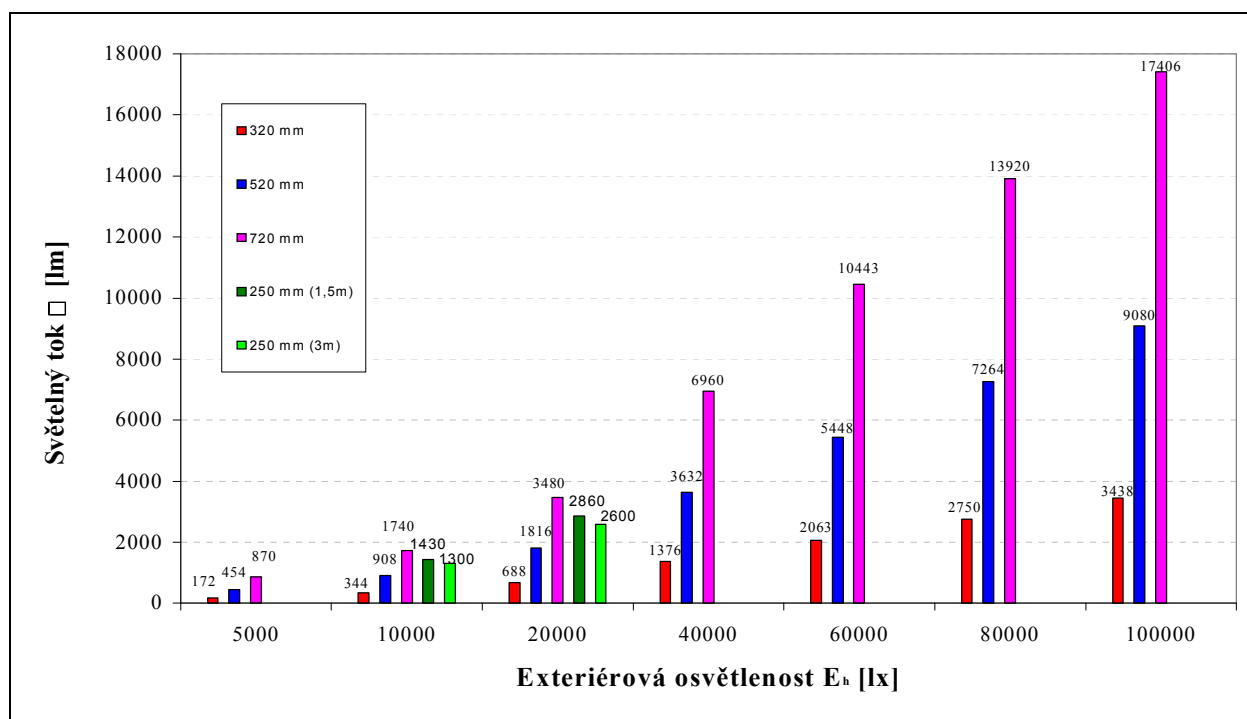
- tepelné ztráty a tepelné zisky obvodovými konstrukcemi;
- potřeba tepla budovy na vytápění a teplou vodu;

- potřeba energie na ostatní technologické procesy;
- spotřeby jednotlivých paliv;
- provozní náklady;
- investiční náklady týkající se úsporných opatření;
- ekonomické ukazatele investičních variant;
- dopad na životní prostředí - množství emisí.

13.7.2. Hodnocení účinnosti světlovodu

Princip využití dutých tubusových světlovodů v budovách je znám již dlouho, v posledních deseti letech však byl zaznamenán nebývalý zájem o tyto systémy. Způsobila to, mimo jiné, i energeticky úsporná opatření. Světlovody přivádí denní světlo i do těch částí budovy, které by jinak bylo možno osvětlovat pouze elektricky. Úspora energie a nákladů na umělé osvětlení může být při vhodné instalaci světlovodů značná. Širšímu používání těchto systémů u nás dnes brání především jejich poměrně vysoké pořizovací náklady, ale v souvislosti se stále se zvyšujícími cenami za energie je tento způsob osvětlení budov velmi perspektivní.

Na následujícím *Obr. 13.2* je grafické znázornění světelného toku, který prochází do místnosti světlovodem o předpokládané účinnosti $\eta = 0,5$ (50%) pro různé exteriérové osvětlenosti od úplně zamračené oblohy 5000 lx po jasnou letní oblohu 100 000 lx. Pro porovnání jsou zde uvedeny hodnoty, které byly stanoveny experimentálním měřením pro světlovody průměru 250 mm, délek 1,5 m a 3 m v době rovnoměrně zatažené oblohy s exteriérovou osvětleností 10 000 lx a 20 000 lx.



Obr. 13.2: Světelný tok procházející světlovody různých průměrů

V *Tab. 13.3* je uvedeno porovnání osvětlenosti světlovody různých průměrů ve vztahu k osvětlení umělými světelnými zdroji pro exteriérovou osvětlenost na nezacloněné horizontální rovině E_h od 5000 do 100 000 lx.

Tab. 13.3: Srovnání světlovodů a umělých světelných zdrojů

Počet umělých světelných zdrojů, které lze nahradit světlovodem			
Světlovod-průměr	┐ = 320 mm	= 520 mm	┐ = 720 mm
Exterierová osvětlenost			
Žárovka 12 lm.W ⁻¹			
E _h = 5000 lx	-	1x40 W	1x85W
E _h = 20 000 lx	1x60W	1x100W+1x75W	3x100W+1x40W
E _h = 60 000 lx	2x100W	5x100W (+30 W)	10x100
E _h = 100 000 lx	3x100W (+1x35)	8x100W+1x85W	~17x100W
Žárovka (standard) 50 lm.W ⁻¹			
E _h = 5000 lx	-	-	20 W
E _h = 20 000 lx	-	1x36W	1x75W
E _h = 60 000 lx	1x36W	1x100W+~1x30W	2x100W+1x36W
E _h = 100 000 lx	1x80W	2x100W	4x100W
Žárovka (HF) 100 lm.W ⁻¹			
E _h = 5000 lx	-	-	-
E _h = 20 000 lx	-	1x21W	1x35w
E _h = 60 000 lx	1x21W	3x21 W	3x35W
E _h = 100 000 lx	1x35W	3x35W	5x35W+1x28W
Výbojka (HQI) 85 lm.W ⁻¹			
E _h = 5 000 lx	-	-	12 W
E _h = 20 000 lx	-	-(25W)	1x35W+12
E _h = 60 000 lx	28W	1x70W	1x100W+1x35W
E _h = 100 000 lx	1x35W	1x100W+25W	2x100W+1x35W

V Tab. 13.4 jsou uvedeny výhody i nevýhody dutých světlovodných systémů v porovnání s klasickými systémy umělého osvětlení budov.

Tab. 13.4: Srovnání světlovodných systémů se systémy umělého osvětlení

Srovnávací hledisko	Světlovody	Umělé osvětlení
Investiční náklady	Poměrně vysoké pořizovací náklady, v případě dodatečné instalace se mohou podstatně zvýšit o náklady potřebné na provedení prostupů přes stávající stavební konstrukce	Náklady na projektovou dokumentaci a instalace umělého osvětlení
Provozní náklady	Žádné	Spotřeba elektrické energie a špatná kontrola úspor
Kvalitativní hledisko	Výhoda: denní světlo-přirozený zdroj osvětlení Nevýhoda: závislost na vnějších světelných podmínkách	Výhoda: dostupnost osvětlení ve všech podlažích, nezávislost na vnějších světelných podmínkách Nevýhoda: Umělé osvětlení nemůže žádným způsobem nahradit denní světlo
údržba	Minimální údržba - odstranění sněhu z nástřešní kopule v zimě, kontrola těsnění a hydroizolace	Údržba a revize elektrického osvětlovacího systému

13.8. Racionalizační opatření v elektrických rozvodech

13.8.1. Požadavky na elektrické rozvody

Elektrický rozvod musí podle druhu provozu splňovat požadavky na:

- bezpečnost osob
- provozní spolehlivost
- přehlednost rozvodu
- snadnou přizpůsobivost rozvodu

- hospodárnost rozvodu
 - hospodárné použití typizovaných jednotek
 - vzhled
 - zamezení nepříznivých vlivů a rušivých napětí
- Prostředí v jednotlivých prostorech se stanoví podle ČSN 33 2000-3.
- Ochrana před nebezpečným dotykem se provádí dle ČSN 33 2000-4-41.
- Značení vodičů se provádí podle ČSN 33 0165.
- Každé elektrické zařízení musí být podrobena výchozí revizi podle ČSN 33 1500 a ČSN 33 2000-6-61.

Elektrická zařízení, jejichž funkce je nutná např. při evakuaci obyvatelstva nebo při hašení požáru se připojí samostatným vedením z přípojkové skříně nebo z hlavního rozvaděče.

Průřezy vodičů se volí podle ČSN 33 2000-5-523, ČSN 33 2000-4-43 a ČSN 33 2000-4-473.

Rozvaděče a rozvodnice musí být v provedení, které vyhovuje prostředí v prostoru, ve kterém jsou umístěny. Před elektroměrovým rozvaděčem nebo jádrem musí být volný prostor o hloubce alespoň 80cm s rovnou podlahou.

Na jeden světelný obvod se smí připojit tolik svítidel, aby součet jejich jmenovitých proudů nepřekročil jmenovitý proud jističího přístroje obvodu. Jmenovitý proud ovládacího přístroje nesmí být menší než součet jmenovitých proudů všech svítidel tímto přístrojem ovládaných. Světelné zdroje se zvláště nejistí, proti nadproudu se jistí jen jejich přívodní vedení.

Kolébkové spínače a ovládače se osazují tak, aby do polohy zapnuto bylo nutno stlačit kolébku nahoře. Toto ustanovení se netýká střídavých a křížových přepínačů.

Vedení světelného obvodu se jistí jističi, nebo pojistkami se jmenovitým proudem nejvýše 25A.

Na zásuvkové obvody lze podle potřeby pevně připojit jednoúčelové spotřebiče pro krátkodobé použití do příkonu 1,2kW. Zásuvky musí mít ochranný kolík připojený na ochranný vodič. Jednofázové zásuvky se připojují tak, aby ochranný kolík byl nahoře a střední vodič byl připojen na pravou dutinku při pohled zředu.

Na jeden zásuvkový obvod lze připojit nejvýše 10 zásuvkových vývodů. Zásuvky s dvojitými svorkami se doporučuje připojovat smyčkováním. Dvojjzásuvka se nesmí připojit do dvou různých obvodů.

Na jeden trojfázový obvod lze připojit několik trojfázových zásuvek na stejný jmenovitý proud. Zásuvky o různém jmenovitém proudě se nesmějí zapojovat do stejného obvodu.

Pojistka nebo jistič v zásuvkovém obvodu jistí pouze rozvod k zásuvkám a nejistí připojený spotřebič. Pro pevně připojené spotřebiče o příkonu nad 1200VA se zřizují samostatně jištěné obvody. Trojfázové spotřebiče mohou být připojeny na jeden obvod, pokud jejich celkový výkon nepřesáhne 15kVA.

Značení vodičů při styku vodičů se starým a novým označením se provádí podle ČSN 33 0165.

V budovách, kde je zaveden plyn, nesmí být instalovány jiskřící zvonky (tj. zvonky s přerušovačem).

13.8.2. Úbytky napětí a ztráty na elektrických rozvodech

Obecně pro úbytek napětí na jednofázovém rozvodu platí:

$$\Delta U = 2 \cdot R \cdot I = 2 \cdot \rho \cdot \sum_{i=1}^n \frac{l_i \cdot I_{i\check{c}}}{S_i} + 2 \cdot X_k \cdot \sum_{i=1}^n l_i \cdot I_{ij} \quad (13.1)$$

V sítích nn můžeme úbytek napětí způsobený jalovým proudem zanedbat.

Činné ztráty v jednofázovém rozvodu můžeme obecně definovat vztahem:

$$\Delta P = 2 \cdot R \cdot I^2 = 2 \cdot \rho \cdot \sum_{i=1}^n \frac{l_i \cdot I_i^2}{S_i} \quad (13.2)$$

13.8.3. Zmenšení ztrát v elektrických rozvodech s nesymetrickým rozdělením proudů v jednotlivých fázích

Činné ztráty ve elektrických rozvodech můžeme obecně definovat vztahem:

$$\Delta P = k \cdot R \cdot I^2 = k \cdot \frac{\rho \cdot l}{S} \cdot I^2 \quad (13.3)$$

Koeficient **k** udává, zda se jedná o jednofázový rozvod ($k=2$), nebo o třífázový rozvod ($k=3$).

Pro běžný rozváděč s výkonem 30 kW, délkou rozvodu 500m, $S = 35 \text{ mm}^2$ Al ($\rho = 1/33 \Omega \cdot \text{mm}^2 \cdot \text{m}^{-1}$), můžeme získat různé hodnoty ztrát podle druhu zatížení.

Nejdříve budeme uvažovat, že celý odběr je umístěn na konci vedení a odběr je symetrický, v každé fázi teče proud $I = 40 \text{ A}$ (tj. $P = 27,6 \text{ kW}$).

$$\Delta P = 3 \cdot \frac{\rho \cdot l}{S} \cdot I^2 = 3 \cdot \frac{500}{33 \cdot 35} \cdot 40^2 = 2,1 \text{ kW}$$

$$\Delta p = \frac{\Delta P}{P} \cdot 100 = \frac{2,1}{27,6} \cdot 100 = 7,6 \%$$

V druhém případě budeme uvažovat opět odběr na konci rozvodu, ale s nesymetrickým zatížením jednotlivých fází $I_{L1} = 30 \text{ A}$, $I_{L2} = 40 \text{ A}$, $I_{L3} = 50 \text{ A}$ ($P = 27,6 \text{ kW}$).

$$\Delta P = \frac{\rho \cdot l}{S} \cdot (I_{L1}^2 + I_{L2}^2 + I_{L3}^2 + I_N^2) = \frac{500}{33 \cdot 35} \cdot (30^2 + 40^2 + 50^2 + 17,3^2) = 2,3 \text{ kW}$$

$$\Delta p = \frac{\Delta P}{P} \cdot 100 = \frac{2,3}{27,6} \cdot 100 = 8,3 \%$$

Podle skutečně naměřených hodnot je uvažování proudové nesymetrie oprávněné, a lze počítat s tím, že skutečné ztráty vlivem proudové nesymetrie mohou dosáhnout až kolem 2%

ze zatížení i při uvažování rovnoměrného rozložení výkonu podél vedení (teoreticky jedna třetina původních ztrát).

13.8.4. Energetické rušení

V současné době se objevují různá energetická rušení v napájecích systémech nízkého napětí především v rozsáhlých objektech obchodních, zábavních, bankovních a kancelářských centrech. Tato rušení jsou v některých případech způsobována světelnými zdroji a jejich pomocnými řídicími prvky, kancelářskou přístrojovou technikou a také nevhodně provedeným napájecím systémem. Energetická rušení zahrnují celou škálu negativních jevů jako je kolísání napětí, flicker, vyšší harmonické a interharmonické. Z hlediska disfunkce samotného napájecího systému je jedním z nejnebezpečnějších rušení generování vyšších harmonických proudů. Působení vyšších harmonických vede obecně ke snížení spolehlivosti a kvality dodávky elektrické energie zejména působením těchto jevů:

- Přehřívání středního vodiče, které někdy vede až k jeho destrukci
- Přerušení dodávky elektrické energie vlivem falešného působení ochran
- Disfunkci kompenzačních jednotek včetně hrazených, které jsou laděny na frekvence blízké třetí harmonické
- Zrychlené stárnutí energetických prvků včetně zvýšení energetických ztrát
- Blikání světelných zdrojů, největší vliv má druhá harmonická popřípadě meziharmonické

13.9. Energetický audit budov

Nutnost provedení energetického auditu budovy vyplývá, mimo jiné, z vyhlášky 213/2001 Sb., kterou se vydávají podrobnosti náležitostí energetického auditu. Je zde uvedeno od jaké velikosti spotřeby energií vzniká povinnost pro organizační složky státu, krajů a obcí, příspěvkové organizace a fyzické a právnické osoby, vypracovat energetický audit a které části má obsahovat. Zároveň energetický audit zahrnuje některé kroky prováděné při vypracování studie proveditelnosti, jako jsou technická a ekonomická analýza. Opomíjenou ale neméně důležitou částí energetického auditu je hodnocení elektroinstalace a osvětlení. Zároveň se jedná o specifickou oblast energetického auditu, neboť v případě výměny některých starých osvětlovacích soustav za nové nemusí dojít k očekávaným úsporám. To je dáno především nedostatečným stávajícím osvětlením, které nevyhovuje současným požadavkům. Při hodnocení energetické náročnosti osvětlení není možné sledovat pouze hledisko spotřeby elektrické energie, příp. úspor, ale i zda osvětlení vyhovuje současně platné legislativě, splňuje podmínky na zrakovou pohodu, ale i estetické požadavky.

Z hlediska samotného vypracování auditu je zapotřebí zajistit zejména projektovou dokumentaci, zprávy o pravidelné revizi elektrického zařízení a faktury za odebranou elektrickou energii. Dále je potřeba provést soupis všech elektrospotřebičů a jejich příkonů, které se výrazně podílí na spotřebě elektrické energie v objektu, a samotného osvětlení. Pro vyčíslení konkrétních úspor je potřeba ještě zjistit použitá svítidla a světelné zdroje, jejich druhy a dobu provozu. Zjištěné údaje z projektové dokumentace poté zkonfrontovat se skutečným stavem objektu. Ke zhodnocení stávajícího stavu je zapotřebí ještě provést měření intenzity osvětlení na srovnávací rovině, která je na komunikačních prostorech a v tělocvičnách na podlaze, v předškolních zařízeních na stolicích, příp. ve výšce 0,45 m a v ostatních zařízeních na lavicích, stolech apod. případně ve výšce 0,85 m nad podlahou.

Z naměřených hodnot se vypočítají potřebné údaje a porovnají s požadavky. Je potřeba připomenout, že pro zhodnocení umělého osvětlení je potřeba ještě provést výpočet, příp. měření denního osvětlení.

Při navrhování jednotlivých opatření je možné mezi organizační opatření zahrnout kontrolu vypínání osvětlení a elektrospotřebičů v případě déletrvající nepřítomnosti osob. Mezi nízkonákladová opatření patří zejména použití kvalitnějších světelných zdrojů, čištění oken a svítidel, údržba okolní zeleně a obnova povrchů stěn. V opodstatněných případech také výměna žárovek za kompaktní zářivky s integrovaným předřadníkem. Mezi investiční opatření pak patří především výměna zastaralého osvětlení za nové, energeticky méně náročné, příp. použití inteligentních řídicích systémů. V případě rekonstrukce osvětlovací soustavy je zároveň potřeba i provést rekonstrukci elektroinstalace, tak aby vyhovovala současným požadavkům norem.

Při výběru optimální varianty, tzn. dosažení úspor elektrické energie při optimální ceně je potřeba uvažovat s dobou využití dané osvětlovací soustavy, výsledkem pak je použití elektronických předřadníků, v prostorech s vysokou dobou využití, které jsou sice dražší než klasické předřadníky, příp. žárovky ale na druhou stranu energeticky úspornější. Pro optimální využívání osvětlovacích systémů, v závislosti na denním osvětlení, výskytu pracovníků apod. je vhodné použití inteligentních řídicích systémů.

Literatura:

- [2.1] *Plch, J.:* Světelná technika v praxi, Praha, 1999.
- [2.2] *Habel, J.:* Světelná technika a osvětlování, FCC Public, 1995.
- [2.3] *Sokanský, K.:* Inteligentní řízení osvětlovacích soustav vnitřního osvětlení, Publikace ČEA, Ostrava 2004.
- [2.4] *Sokanský, K a kolektiv.:* Úspory el. Energie na veřejném osvětlení, Česká společnost pro osvětlování, Ostrava 2002.
- [2.5] *Sokanský, K.:* Elektrické světlo a teplo, Skripta VŠB-TU Ostrava 1990.
- [2.4] *Plch J., Mohelníková J., Suchánek P.:* Osvětlení neosvětlitelných prostor, Vydavatelství ERA, Brno 2004.
- [2.5] *Hraška J., Vaverka J., Rybár P., Šesták F., Juklová M.:* Denní osvětlení a oslunění budov, Vydavatelství ERA, Brno 2002.
- [2.6] *Plch J., Mohelníková J.:* Osvětlení místnosti tubusovým světlovodem, Kurz osvětlovací techniky XXIII, VŠB-TU Ostrava 2004.
- [2.6] *Doležal J., Kyncl J., Švec J., Thustý J.:* Filtrace vyšších harmonických ve světelných rozvodech, Kurz osvětlovací techniky XXIII, VŠB-TU Ostrava 2004.
- [2.7] ČSN 36 0020 Sdružené osvětlení budov, 1986.

14. ZÁVĚR

Příručka je rozdělena do následujících kapitol.

Po Úvodu následuje kapitola Základy světelné techniky a jsou zde popsány základní pojmy ze světelné techniky včetně popisu zrakového systému.

V kapitole Denní osvětlení budov jsou popsány základní pojmy a požadavky pro návrh denního osvětlení včetně používání výpočetní techniky při návrhu denního osvětlení dle normy ČSN 730580 – 1.

Kapitola Umělé osvětlení v budovách seznamuje uživatele s novou normou pro osvětlení ČSN EN 12665 a normou ČSN EN 12464 – Světlo a osvětlení pracovních prostorů – Část 1 – Vnitřní pracovní prostory. V závěru této kapitoly jsou vybrány požadavky na světlování kanceláří a škol.

Kapitola Sdružené osvětlení budov popisuje základní pojmy a kritéria pro návrh osvětlení dle stávající normy ČSN 360020 – 1 - Sdružené osvětlení.

Kapitola Proslunění staveb popisuje stručným způsobem požadavky normy ČSN 734301 Obytné budovy z hlediska požadavků na proslunění obytných budov, bytů a škol. Je zde rovněž popsána ochrana proti nežádoucím účinkům přímého slunečního záření.

Kapitola Provoz a údržba osvětlení je zaměřena na výklad základních pojmů z oblastí provozu a údržby osvětlení se zaměřením na spolehlivost a racionalizační opatření.

Kapitola Legislativa v oblasti osvětlování stručným způsobem popisuje normy, základní zákony, vyhlášky a nařízení týkající se osvětlování.

Kapitola Světelné zdroje popisuje vybrané typy světelných zdrojů používané pro osvětlování vnitřních prostorů, jejich parametry a potřebné vlastnosti pro spolupůsobení s denním světlem.

Kapitola Svítilidla je zaměřena na popis jejich světelně-technických parametrů a typů vhodných pro energeticky výhodné osvětlování.

Kapitola Předřadné přístroje pro světelné zdroje v interiérech popisuje jednotlivé typy předřadníků se zaměřením na jejich energetickou náročnost.

Kapitola Řízení a regulace osvětlení popisuje regulační a řídicí systémy včetně inteligentních řídicích systémů pro inteligentní řízení budov.

Kapitola Racionalizace v osvětlování kancelářských, školních a bytových prostor popisuje denní, umělé a sdružené osvětlení z hlediska vzájemných vazeb umožňujících snížení energetické náročnosti při osvětlování.

15.OBSAH

1. ÚVOD	1
2. ZÁKLADY SVĚTELNÉ TECHNIKY	2
2.1. Podstata světla, zrakový systém	2
2.1.1. Podstata světla	2
2.1.2. Zrakový systém, zrakové mechanismy	2
2.2. Základní světelnotechnické pojmy a veličiny	6
2.2.1. Přehled pojmů a veličin	6
2.2.2. Základní výpočetní vztahy	8
2.2.3. Světelné technické vlastnosti látek	10
2.2.4. Prostorové charakteristiky osvětlení	12
2.2.5. Barevné vlastnosti zdrojů a předmětů	13
3. DENNÍ OSVĚTLENÍ BUDOV	15
3.1. Úvod	15
3.2. Základní pojmy	15
3.3. Časový průběh denního osvětlení	15
3.4. Podmínky denního osvětlení ve vnitřních prostorech	17
3.5. Požadavky na denní osvětlení	19
3.6. Výpočet denního osvětlení dostupnými výpočetními programy	20
4. UMĚLÉ OSVĚTLENÍ V BUDOVÁCH	22
4.1. Úvod	22
4.2. Základní pojmy	22
4.3. Kritéria pro navrhování osvětlení	23
4.3.1. Světelné prostředí	23
4.3.2. Rozložení jasu	24
4.3.3. Osvětlenost	24
4.3.4. Osvětlenosti bezprostředního okolí úkolu	25
4.3.5. Rovnoměrnost osvětlení	25
4.3.6. Oslnění	26
4.3.7. Směřované osvětlení	27
4.3.8. Modelace	27
4.3.9. Směřované osvětlení zrakových úkolů	27
4.3.10. Hlediska barev	27
4.3.11. Barevný vzhled (tón) světla	27
4.3.12. Podání barev	28
4.3.13. Míhání a stroboskopické jevy	28
4.3.14. Udržovací činitel	28
4.3.15. Energetická hlediska	29
4.3.16. Denní světlo	29
4.4. Přehled požadavků na osvětlení v kancelářích a vzdělávacích zařízeních (citováno z normy ČSN EN 12464-1)	29
5. SDRUŽENÉ OSVĚTLENÍ BUDOV	33
5.1. Úvod	33
5.2. Základní pojmy	33
5.3. Kritéria pro návrh a posuzování	34
5.3.1. Denní složka sdruženého osvětlení	34
5.3.2. Doplnující umělé osvětlení	35
5.3.3. Regulace sdruženého osvětlení	37
6. PROSLUNĚNÍ STAVEB	39

6.1.	Úvod	39
6.2.	Požadavky na proslunění	39
6.2.1.	Obytné budovy a byty	39
6.2.2.	Předškolní zařízení	40
6.2.3.	Školy	40
6.3.	Ochrana proti nežádoucím účinkům přímého slunečního záření	41
7.	PROVOZ A ÚDRŽBA OSVĚTLENÍ.....	44
7.1.	Úvod	44
7.2.	Provoz osvětlení	44
7.2.1.	Základní pojmy	44
7.2.2.	Základní způsoby řízení a zajištění spolehlivosti provozu osvětlení	45
7.3.	Údržba osvětlení	46
7.3.1.	Základní pojmy z údržby osvětlení	46
7.3.2.	Provozní změny v osvětlovacích soustavách	48
8.	LEGISLATIVA V OBLASTI OSVĚTLOVÁNÍ.....	51
8.1.	Úvod	51
8.2.	ČSN 73 058 Denní osvětlení budov	51
8.3.	ČSN 36 0020-1 Sdružené osvětlení	53
8.4.	Odkazy na zákony, nařízení vlády, vyhlášky, normy	53
9.	SVĚTELNÉ ZDROJE	55
9.1.	Úvod	55
9.2.	Základní parametry světelných zdrojů	57
9.3.	Označování světelných zdrojů energetickými štítky	58
9.4.	Žárovky	59
9.5.	Halogenové žárovky	60
9.6.	Kompaktní zářivky	62
9.7.	Lineární zářivky	65
9.8.	Halogenidové výbojky	68
9.9.	LED diody	69
10.	SVÍTIDLA	72
10.1.	Světelné technické parametry svítidel	72
10.1.1.	Světelný tok svítidla	72
10.1.2.	Účinnost svítidla	72
10.1.3.	Křivky svítivosti svítidel	73
10.1.4.	Úhel clonění	74
10.2.	Základní principy usměrnění světelného toku	74
10.2.1.	Reflektory	75
10.2.2.	Refraktory	75
10.2.3.	Rozptylovače	75
10.2.4.	Kombinované systémy	76
10.3.	Třídění svítidel	76
10.4.	Konstrukční prvky svítidel	79
10.5.	Vývojové trendy v oblasti svítidel	81
11.	PŘEDŘADNÉ PŘÍSTROJE PRO SVĚTELNÉ ZDROJE V INTERIÉRECH... 83	83
11.1.	Základní přehled předřadných přístrojů	83
11.2.	Požadavky na energetické účinnosti předřadných přístrojů pro zářivky	83
11.3.	Předřadné přístroje pro žárovky	85
11.4.	Předřadné přístroje pro halogenové žárovky	85
11.5.	Magnetické (konvenční) předřadníky	86
11.6.	Elektronické předřadníky pro zářivky	87

11.7.	Stmívatelné elektronické předřadníky	93
11.8.	Předřadné přístroje pro led diody	95
12.	ŘÍZENÍ A REGULACE OSVĚTLENÍ	96
12.1.	Úvod	96
12.2.	Možnosti regulace světelných zdrojů v interiérových svítidlech	97
12.2.1.	Klasická žárovka	97
12.2.2.	Halogenová žárovka na nízké napětí	98
12.2.3.	Zářivky s konvenčním předřadníkem	99
12.2.4.	Zářivky se stmívatelným elektronickým předřadníkem	99
12.2.5.	Zářivky s nestmívatelným elektronickým předřadníkem	99
12.2.6.	LED diody	99
12.2.7.	Halogenidové výbojky	100
12.3.	Řízení elektronických předřadníků	100
12.3.1.	Analogové řízení	100
12.3.2.	Digitální řízení	101
12.4.	Senzory	105
12.4.1.	Světelné senzory	105
12.4.2.	Kombinované senzory	106
12.5.	Inteligentní řídicí systémy	107
13.	Racionalizace v osvětlování kancelářských, školních a bytových prostor	110
13.1.	Úvod	110
13.2.	Energetický význam denního osvětlení	110
13.3.	Optimalizační návrh denního osvětlení	112
13.4.	Optimální návrh umělého osvětlení	116
13.4.1.	Vlastnosti světelných zdrojů	116
13.4.2.	Předřadné přístroje	118
13.4.3.	Řízení a regulace osvětlení	119
13.4.4.	Svítidla	119
13.4.5.	Volba osvětlovací soustavy	119
13.5.	Racionalizace vyplývající ze vzájemné vazby denního a umělého osvětlení a energetické bilance budov	120
13.6.	Regulace denního a umělého osvětlení	123
13.7.	Světlovody jako součást energeticky úsporných opatření	124
13.7.1.	Energeticky úsporná opatření	124
13.7.2.	Hodnocení účinnosti světlovodu	125
13.8.	Racionalizační opatření v elektrických rozvodech	126
13.8.1.	Požadavky na elektrické rozvody	126
13.8.2.	Úbytky napětí a ztráty na elektrických rozvodech	128
13.8.3.	Zmenšení ztrát v elektrických rozvodech s nesymetrickým rozdělením proudů v jednotlivých fázích	128
13.8.4.	Energetické rušení	129
13.9.	Energetický audit budov	129
14.	ZÁVĚR	131
15.	OBSAH	132