



ÚSPORY ELEKTRICKÉ ENERGIE NA VEŘEJNÉ OSVĚTLENÍ

Česká společnost pro osvětlování

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

Ing. Petr Krejčí, Ph.D.

Ing. Josef Nezval

Ing. Alena Muchová

Jiří Voráček

Ing. Jaroslav Kotek

1. ÚVOD

Světlo patří k důležitým činitelům, které významně podmiňují úroveň životního prostředí. Vyvolává v člověku fyziologické a psychologické reakce, které jsou ovlivněny množstvím světelné energie, jejím časovým a prostorovým rozložením, druhem světla a jeho barevnou jakostí. Pomocí zraku získává člověk 80 až 90% všech informací o prostředí, které ho obklopuje.

V České republice se spotřebovává asi 11% elektrické energie na osvětlování a v dobách energetických špiček to může být až 20%. Racionalizace v této oblasti může přinést značné úspory při zachování normovaných požadavků na hladiny osvětlení a dodržení hygienických předpisů. Rozumí se tím zavádění nových typů světelných zdrojů, svítidel a regulace provozu osvětlovacích soustav. Veřejné osvětlení (zkráceně VO) patří mezi tzv. neplacené služby obyvatelstvu. Na kvalitní VO, které je důležitou součástí životního prostředí, má právo každý občan. Řádně provozované VO podstatně ovlivňuje veřejný pořádek, bezpečnost dopravy, osob i majetku, zvyšuje turistickou atraktivnost měst a obcí, významnou měrou přispívá ke spokojenosti obyvatel. Výzkumy jiných vyspělých států dokázaly přímý vztah mezi úrovní VO a dopravní nehodovostí, zločinností, vandalizmem a dalšími společensky nežádoucími jevy. Z uvedeného je zřejmá důležitost funkce VO v životě člověka. K zabezpečení kvalitních parametrů osvětlovacích soustav a k jejich každodennímu využití ve prospěch celkového vzhledu města, zejména spokojeného života a bezpečnosti každého občana i jako projev opravdové pohostinnosti vůči návštěvníkovi, je nezbytně nutný odborný, vysoce profesionální přístup pracovníků, kteří zajišťují plány koncepčního rozvoje, výstavbu, rekonstrukce, provoz a údržbu tohoto - pro život města důležitého veřejně prospěšného zařízení.

Úvodní kapitoly této příručky seznamují uživatele se základními pojmy v oblasti světelné techniky. Dále se zde popisuje problematika parametrů a návrhů osvětlovacích soustav VO. Pozornost je věnována rovněž provozování a údržbě osvětlovacích soustav za účelem dosažení úspor elektrické energie.

Cílem příručky je orientace uživatele při výběru světelných zdrojů a svítidel při zachování požadavků technických norem a hygienických předpisů. Optimální světelný zdroj, svítidlo a osvětlovací soustava provozovaná a řízená s využitím nejnovějších poznatků přináší úspory ve výši 40 ÷ 70% ve srovnání s provozováním stávajících osvětlovacích soustav.

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 2.3. 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 $\gamma = 2,53 \cdot 10^{-7} \text{ m}$. 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.

Tab. 2.1 Jednotlivé složky optického záření

Druh záření	Označení	Vlnová délka λ (nm)	Kmitočet f (hz)	Energie W_e (eV)
Ultrafialové	UV-C	100 ÷ 280	$(30 \div 10,7) \cdot 10^{14}$	12,4 ÷ 4,4
	UV-B	280 ÷ 315	$(10,7 \div 9,5) \cdot 10^{14}$	4,4 ÷ 3,9
	UV-A	315 ÷ 380	$(9,5 \div 7,89) \cdot 10^{14}$	3,9 ÷ 3,2
Viditelné	fialová	380 ÷ 430	$(7,89 \div 6,98) \cdot 10^{14}$	3,2 ÷ 2,9
	modrá	430 ÷ 490	$(6,98 \div 6,12) \cdot 10^{14}$	2,9 ÷ 2,5
	zelená	490 ÷ 570	$(6,12 \div 5,26) \cdot 10^{14}$	2,5 ÷ 2,2
	žlutá	570 ÷ 600	$(5,26 \div 5,0) \cdot 10^{14}$	2,2 ÷ 2,0
	oranžová	600 ÷ 630	$(5,0 \div 4,76) \cdot 10^{14}$	2,0 ÷ 1,9
	červená	630 ÷ 780	$(4,76 \div 3,84) \cdot 10^{14}$	1,9 ÷ 1,6
Infračervené	IR-A	780 ÷ 1400	$(3,84 \div 2,14) \cdot 10^{14}$	1,6 ÷ 0,9
	IR-B	1400 ÷ 3000	$(2,14 \div 1,0) \cdot 10^{14}$	0,9 ÷ 0,4
	IR-C	3000 ÷ 10000	$(1,0 \div 0,3) \cdot 10^{14}$	0,4 ÷ 0,12

2.1.2 Zrakový systém, zrakové mechanismy

Viditelné světlo je zpracováno zrakovým orgánem ve zrakový vjem. Proces vnímání je velice složitý, při kterém fyziologické a také psychofyzikální vlivy mají větší vliv než jevy čistě optické. Zrakový orgán je definován jako soubor složený z oka, optických nervových drah, podkorových zrakových center a části mozkové kory, jenž mění světelný podnět (záření) v komplex nervových podráždění vytvářejících zrakový vjem.

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 vyústí 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 oprostěna 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 identifikace a analýza. 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.**

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 dvojí. Adaptace na tmou trvá až 40 minut. Adaptace na světlo trvá 5 až 7 minut. Optický systém oka je charakterizován ostrostí 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 nepřímo 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 jasu rozlišovaného detailu L_a a jasu 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 tím, 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

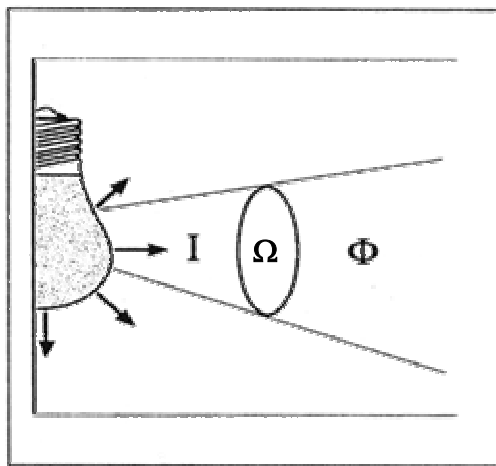
2.2.1 Přehled pojmů a veličin

- Světelný tok $[\Phi] = \text{lm}$ (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)

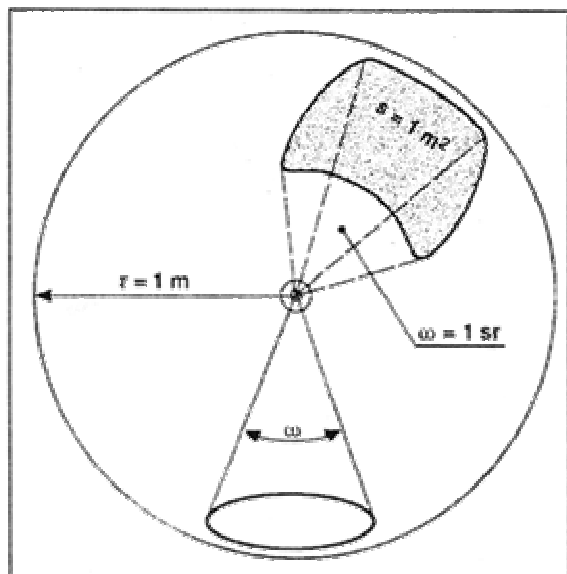
Veličina udává, kolik světelného toku Φ vyzáří světelný zdroj nebo svítidlo do prostorového úhlu Ω v určitém směru.



Obr. 2.1 Definice svítivosti

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

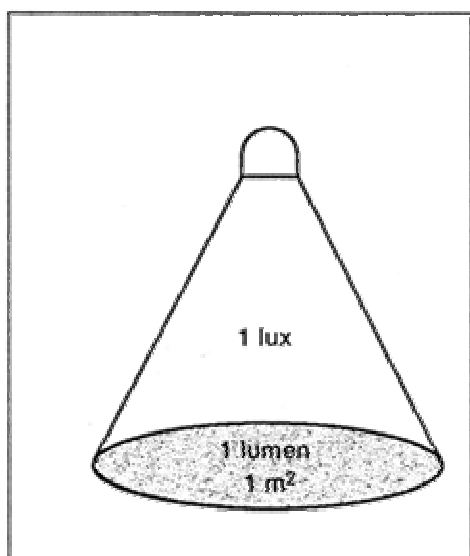
Prostorový úhel je úhel při vrcholu kuželu. Jeho velikost je definována jako poměr kulové plochy A , kterou vyřezává úhel Ω v kulové ploše o poloměru r a druhé mocniny tohoto poloměru ($\Omega = A^2 / r$). Prostorový úhel má hodnotu 1 steradián, když vyřízne z kulové plochy koule o poloměru 1 m plochu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



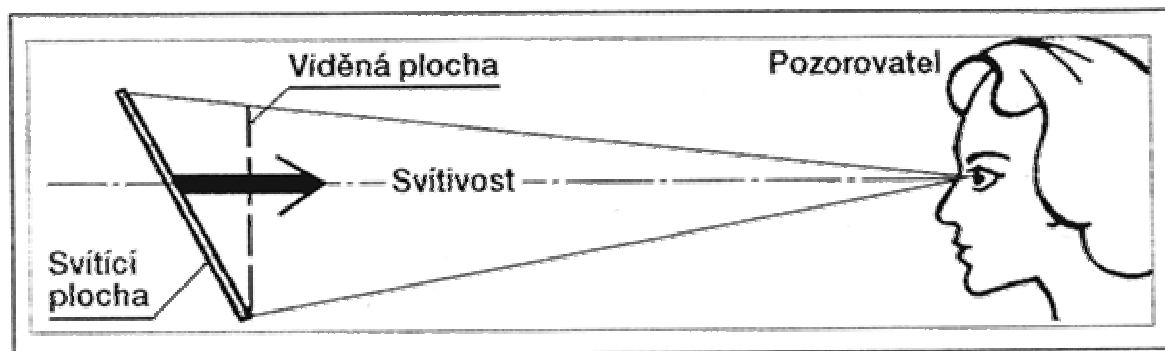
Obr. 2.3 Definice osvětlení

➤ 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. 2.4 Definice jasu

➤ Měrný světelný výkon $[\eta] = \text{lm} \cdot \text{W}^{-1}$ (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 $100 \div 0$.

➤ Barva světla

V barvě světla můžeme rozlišovat tři důležité skupiny:

- teple bílá $< 3300 \text{ K}$
- neutrální bílá $3300 \div 5000 \text{ K}$
- denní bílá $> 5000 \text{ K}$

Při stejné barvě světla mohou mít světelné zdroje různé vlastnosti v podání barev.

➤ Provozní účinnost svítidel

Je důležité kritérium hodnocení svítidla. Udává poměr světelného toku vycházejícího ze svítidla ke světelnému toku zdroje, kterým je svítidlo osazeno. (Pozor na použití svítidla pro jiný zdroj, než pro který bylo určeno, může dojít ke snížení účinnosti.)

➤ Činitel využití

Je důležitý pro hodnocení celkové účinnosti osvětlovací soustavy. V případě venkovního osvětlení je ho možno definovat jako poměr užitečného světelného toku, (který dopadá na plochu, kterou chceme osvětlovat) k toku světelných zdrojů. Činitel využití v tomto pojetí tak zahrnuje jak provozní účinnost svítidel, tak směřování světelného toku soustavy do užitečného směru.

➤ 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, eventuálně činitelem oslnění.

➤ Život světelného zdroje

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 a pojmy

➤ 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 41 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

➤ Jas

$$L = \frac{I}{S_p} \quad (\text{cd.m}^{-2}; \text{cd, m}^2) \quad (2.5)$$

S_p ...viděná svítící plocha

➤ Světlení

$$H = \frac{\Phi_v}{A_v} \quad (\text{lm.m}^{-2}; \text{lm, m}^2) \quad (2.6)$$

Φ_v ...světelný tok vyzařený svítidlem

A_v ...plocha, ze které světelný tok vyzařuje

➤ Celková rovnoměrnost osvětlenosti (jasů)

$$\frac{E_{\min}}{E_p} \approx \frac{L_{\min}}{L_p} \quad (2.7)$$

➤ Podélná rovnoměrnost jasů

$$\frac{L_{\min}}{L_{\max}} \quad (2.8)$$

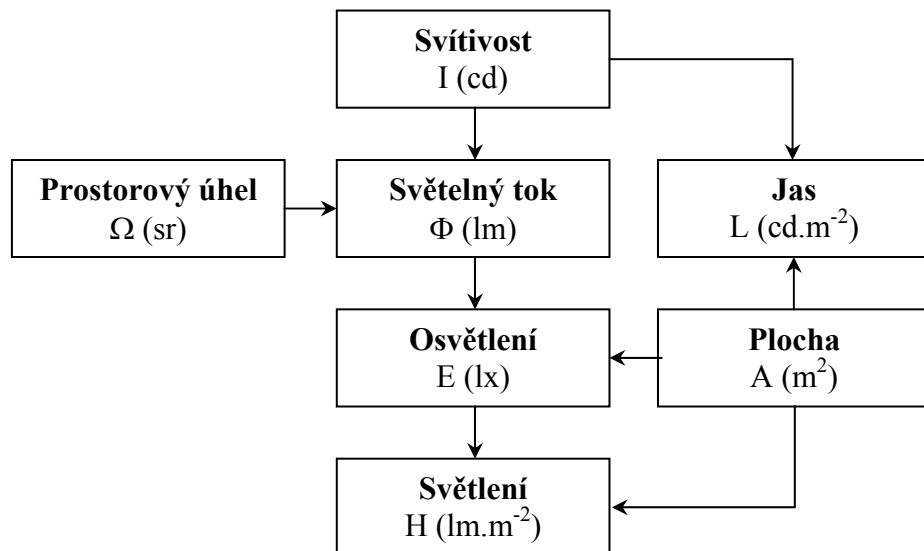
$E_{\min}$...minimální osvětlenost v poli kontrolních bodů

E_p ...průměrná osvětlenost v poli kontrolních bodů

$L_{\min}$... minimální jas v poli kontrolních bodů

L_p ... průměrný jas v poli kontrolních bodů

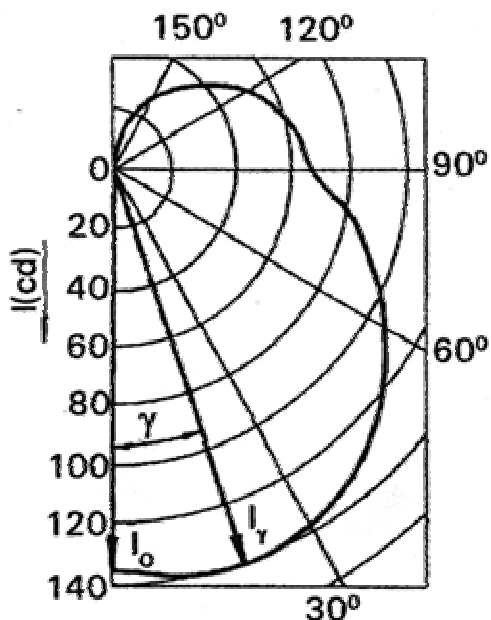
$L_{\max}$... maximální jas v poli kontrolních bodů



Obr. 2.5 Soustava fotometrických veličin

2.2.3 Prostorové rozložení svítivosti

Ve světelné technice potřebujeme znát při výpočtech osvětlení svítivosti v různých směrech. Prostorové rozložení svítivosti určujeme pomocí fotometrických ploch svítivosti.



Obr. 2.6 Příklad čáry svítivosti v polárních souřadnicích

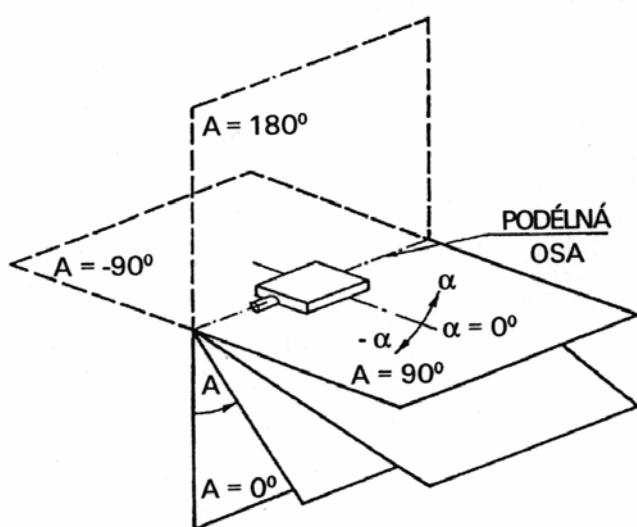
Fotometrická plocha svítivosti je plocha, která vznikne tak, že se zjistí hodnoty svítivosti zdroje světla ve všech směrech prostoru a nanesou se prostorově od bodu zdroje jako

radiusvektory. Spojením všech koncových bodů těchto radiusvektorů dostaneme zmíněnou fotometrickou plochu svítivosti. Při výpočtech obvykle postačuje znát jen některé řezy touto plochou, a to rovinami procházejícími bodovým zdrojem. V rovinách řezů se takto dostanou čáry (křivky) svítivosti v polárních souřadnicích např. viz obr. 2.6. Počátek diagramu svítivosti se umísťuje do tzv. světelného středu zdroje či svítidla (můžeme si jej představit jako bod, do něhož je soustředěn uvažovaný zdroj). Základní či vztažný směr diagramu svítivosti, od něhož se měří úhly, se obvykle umísťuje do normály k hlavní vyzařovací ploše zdroje či svítidla. Jednotlivé čáry svítivosti se získávají měřením na speciálních zařízeních (goniofotometrech) a výrobci svítidel, popř. zdrojů je uvádějí v dokumentaci.

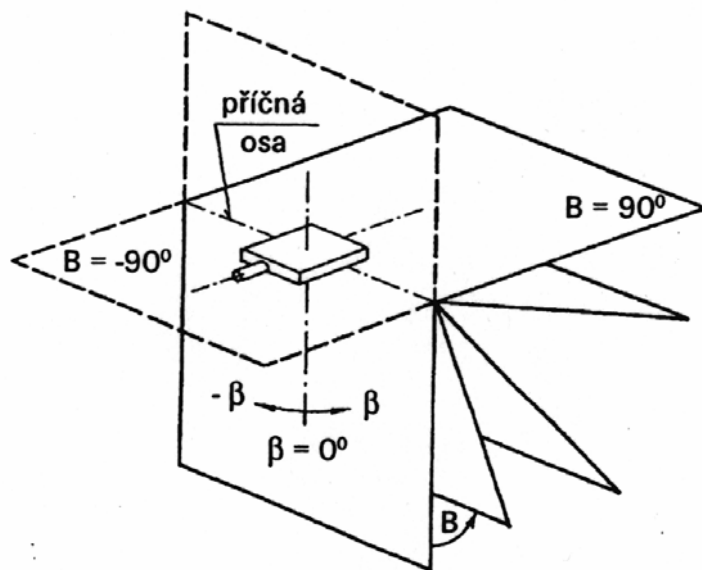
Čáry svítivosti se obvykle udávají v určitých polorovinách vybraných z některých ze tří typů svazků rovnoběžných rovin, jejichž průsečnice (osa svazku) prochází světelným středem svítidla, popř. zdroje. Na obr. 2.7, 2.8, 2.9 jsou znázorněny soustavy fotometrických polorovin A- α , B- β , C- γ doporučených Mezinárodní komisí pro osvětlování CIE. Nejčastěji se používá svazek polorovin C- γ , jehož osa je kolmá k hlavní vyzařovací ploše svítidla či zdroje. V některých případech je však výhodnější využít čáry svítivosti v polorovinách ze svazku rovin, jehož osa je totožná s podélnou (A- α), popřípadě s příčnou (B- β) osou svítidla.

Aby čáry svítivosti svítidel udávané v katalozích byly nezávislé na skutečném světelném toku použitých zdrojů svítidel, přepočítávají se diagramy svítivosti na světelný tok 1000 lm. Skutečná svítivost I_γ svítidla se zdrojem, jehož tok je Φ_z , se určí vynásobením svítivosti I_γ' přečtené z diagramu svítivosti pro 1000 lm poměrem $\Phi_z / 1000$.

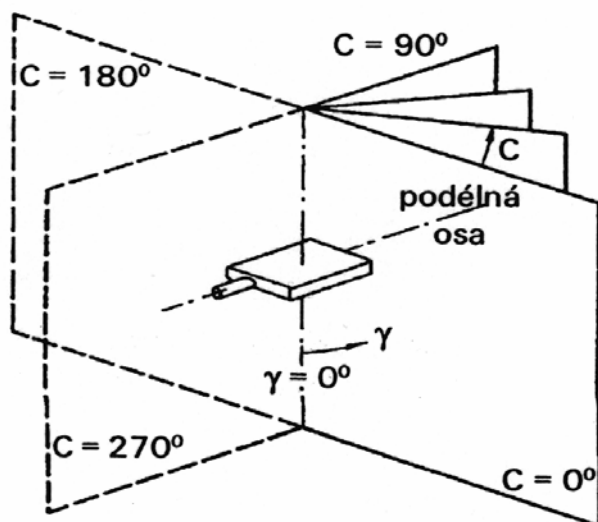
Prostorové rozložení svítivosti by bylo možné znázornit také popsáním bodů na povrchu jednotkové koule hodnotami svítivosti odpovídajícími směru spojnice světelného středu s daným bodem na povrchu koule (střed koule je ve světelném středu uvažovaného zdroje). Poloha jednotlivých bodů na povrchu koule, a tím i uvažovaný směr v prostoru, se určuje v síti rovnoběžek a poledníků. Spojením bodů stejných hodnot svítivosti na povrchu koule vzniknou čáry nazývané izokandely. Nakreslením sítě izokandel se získá izokandelový diagram. Praktická realizace prostorové souřadnicové soustavy je však obtížná. Výhodnější je využít některého ze způsobů zobrazení povrchu koule, popř. polokoule v rovině.



Obr. 2.7 Soustava fotometrických polorovin systému A- α



Obr. 2.8 Soustava fotometrických polorovin systému B-β



Obr. 2.9 Soustava fotometrických polorovin systému C-γ

2.2.4 Osvětlenost (intenzita osvětlení) bodového zdroje

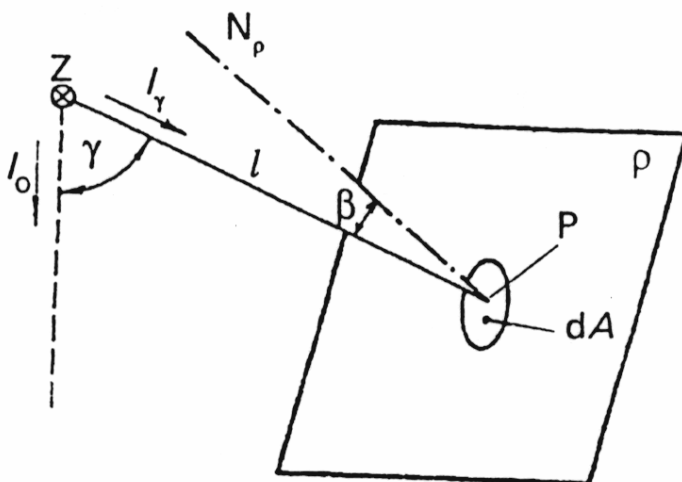
Osvětlenost bodového zdroje (žárovky nebo výbojky) lze vypočítat pomocí čtvercového a kosinového zákona viz obr. 2.10 dle následujícího vztahu:

$$E_{p\rho} = \frac{I_{\gamma} \cdot \cos \beta}{l^2} \quad (\text{lx; cd, m}) \quad (2.9)$$

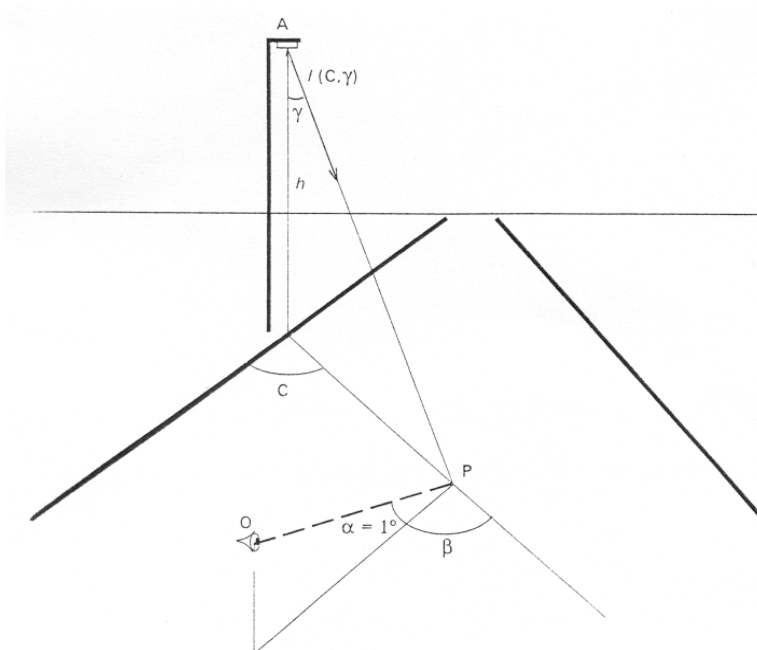
Osvětlenost lze považovat při navrhování osvětlovacích soustav za nejdůležitější veličinu, protože počet luxů pro jednotlivé pracovní činnosti a prostory jsou předepsány v normách a pro projektanty jsou tyto hladiny osvětlenosti závazné.

Pro výpočet horizontální osvětlenosti v kontrolním místě P viz obr. 2.11 platí vztah:

$$E_p = \frac{I_{(C,\gamma)}}{h^2} \cdot \cos^3 \gamma \quad (\text{lx; cd, m}) \quad (2.10)$$



Obr. 2.10 Osvětlenost od bodového zdroje



Obr. 2.11 Výpočet horizontální osvětlenosti komunikace v bodě P

2.2.5 Světelné technické vlastnosti hmot

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 . Činitelé odrazu ρ , propustnosti τ a pohlcení α jsou dány vztahy:

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

$$\tau = \frac{\Phi_\tau}{\Phi} \quad (-; \text{lm}, \text{lm}) \quad (2.12)$$

$$\alpha = \frac{\Phi_\alpha}{\Phi} \quad (-; \text{lm}, \text{lm}) \quad (2.13)$$

2.2.6 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. 2.2 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

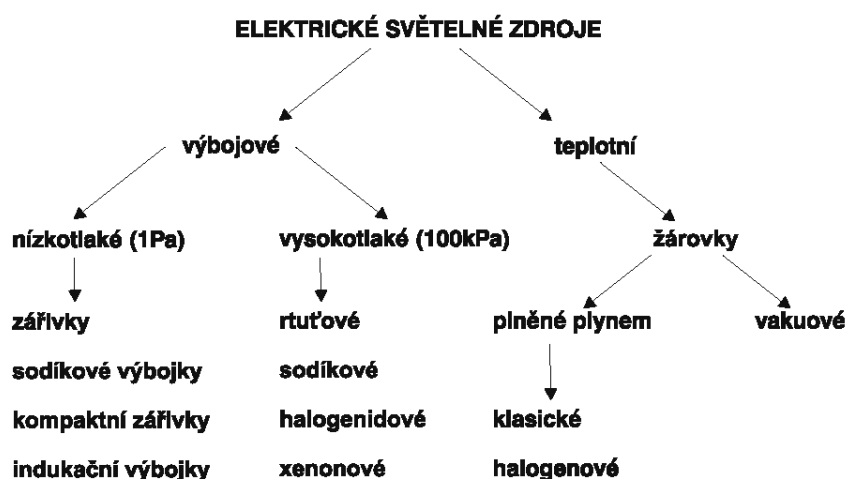
Barvy, které mají barevný tón jsou barvy pestré, ostatní jsou barvy nepestré. Nepestré barvy nemají barevný tón a tvoří spojitou řadu od bílé až po černou. Ke specifikaci barev se používají trichromatické soustavy a teplota chromatičnosti, Munsellův atlas se používá k určování kolority. Z praktického 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.

2.3 Světelné zdroje ve veřejném osvětlení

Světelné zdroje pro veřejné osvětlení musí pro zajištění ekonomického provozu této důležité služby splňovat následující kritéria:

- vysoký měrný výkon, dnes vyšší než 100 lm/W, pro efektivní využití elektrické energie
- dlouhou dobu života, umožňující případnou hromadnou výměnu světelných zdrojů v cyklech min. 4 roky, dnes vyšší než 20 000 h
- přiměřenou pořizovací cenu

Světelné zdroje lze rozdělit dle obr. 2.12



Obr. 2.12 Rozdělení světelných zdrojů

2.3.1 Parametry světelných zdrojů

Parametry světelných zdrojů lze rozdělit na kvalitativní a kvantitativní. Mezi kvantitativní parametry patří vyzařovaný světelný tok Φ (lm) a jejich el. příkon P (W). Pro vzájemné porovnání zdrojů je velmi důležitou veličinou měrný světelný výkon (příkon) η (lm.W⁻¹). Tento parametr je důležitý zejména pro uživatele a projektanty, kteří potřebují znát celkový příkon osvětlovací soustavy.

Kvalita světelných zdrojů se posuzuje podle jejich života T (hod), podle barevné jakosti a podle stálosti světelně-technických parametrů.

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

Život žárovek končí přepálením vlákna, život výbojek končí po uplynutí hospodárné doby života, která je stanovena normami. Provoz výbojek po této době se stává neefektivní. Barevná jakost nebo také chromatičnost světla zdrojů je určena spektrálním složením vyzařované energie. Vyjadřuje se pomocí trichromatických souřadnic anebo teploty chromatičnosti. V praxi se světelné zdroje rozlišují podle barevného tónu vyzařovaného světla.

Jakost úrovně vjemu barev od jednotlivých zdrojů se číselně vyjadřuje pomocí všeobecného indexu barevného podání 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-li R_a větší než 70. Stupně podání jakosti barev s přiřazenými indexy podání barev dle DIN 5035 a ČSN 360450.

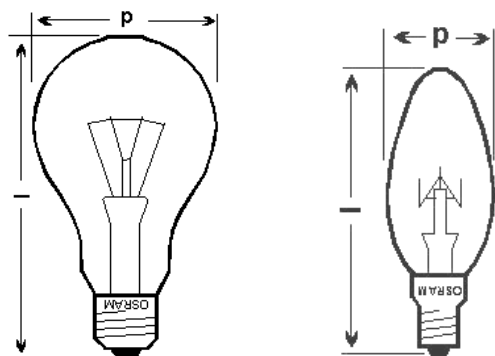
Stálost světelně technických parametrů souvisí s provozními vlastnostmi světelných zdrojů. Jedná se o časovou závislost, kterou lze definovat jako rychlou nebo pomalou. Rychlými změnami se rozumí změny parametrů např. světelného toku v závislosti na napájecím střídavém napětí o frekvenci 50 Hz. Světelný 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.

Mezi rychlé změny patří také změny např. světelného toku v závislosti na kolísání efektivní hodnoty napětí. Toto kolísání je způsobeno provozem některých spotřebičů jako jsou el. obloukové pece. Světelný tok kolísá se stejnou frekvencí jako napětí, což rušivě ovlivňuje zrakový vjem zejména v oblasti frekvencí 8 – 12 Hz. Tento jev vyvolávají hlavně žárovky, nejméně zářivky. Mezi rychlé změny se počítají změny parametrů v souvislosti s náběhem světelného zdroje po zapnutí k napájecí síti. Žárovky a zářivky nabíhají téměř okamžitě, parametry výbojek, to je světelný tok, proud a příkon se ustalují až po několika minutách.

Pomalými změnami se rozumí závislost parametrů na statických změnách napětí, což se vyjadřuje pomocí křížových charakteristik. Mezi pomalé změny patří rovněž změny parametrů způsobené stárnutím světelných zdrojů. Během života klesá světelný tok. Například u žárovek se sníží po 1000 hod. provozu na 90 %. U výbojových zdrojů se požaduje, aby po uplynutí 70 % doby života nepoklesl jejich světelný tok pod 70 % hodnoty, která byla naměřena po 100 hod. hoření výbojky.

2.3.2 Teplotní zdroje

Klasické žárovky



Obr. 2.13 Klasická žárovka

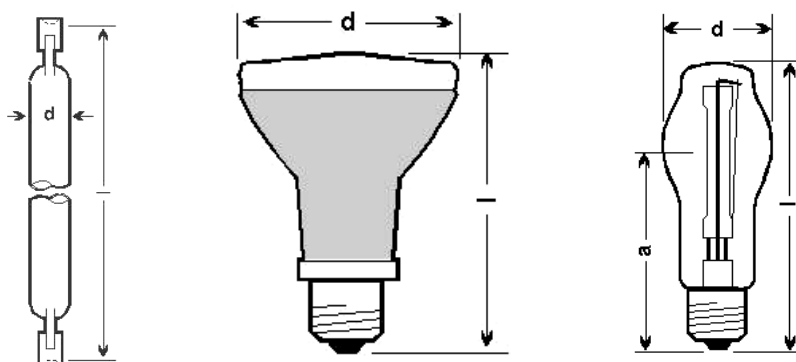
Žárovky jsou prvotními umělými zdroji světla využívající základní technologii výroby světla, která je už víc jak 100 roků stará. Princip technologie spočívá v tom, že do vnitra vyčerpané skleněné banky na vakuum je uloženo vlákno z wolframu, které je přetékáno elektrickým proudem. Protékající elektrický proud způsobuje ohřev vlákna a tím i záření v oblasti

viditelného záření z rozsáhlého spektra elektromagnetického vlnění. Moderní žárovky mají vlákno ve tvaru spirály, která způsobuje vyšší účinnost a redukuje tepelné ztráty. Baňky žárovek jsou vyčerpané na vysoké vakuum, které chrání vlákno před sloučením s kyslíkem a jeho hořením. V současnosti jsou baňky žárovek plněné inertním plynem pro ten samý účel, který je uveden výše. Měrný výkon je asi 5%. Se vzrůstající teplotou vlákna dostáváme intenzivnější světlo a vyšší teplotu chromatičnosti světla. První uhlíkové žárovky měly měrný výkon $1,7 \text{ lm.W}^{-1}$. Život žárovek je 1 000 hodin a neustále se zvyšuje zdokonalenou technologií vinutí vlákna a plněním baněk žárovek inertními plyny. Světlo žárovek se může řídit nenákladnými stmívacími zařízeními. Vzhledem na nízkou teplotu chromatičnosti T_c , vysoké barevné podání $R_a = 100$ se jimi získává výjimečné barevné podání lidské kůže a jsou hlavně v domácnostech, ale i ve společenských prostorách stále využívány. Vyrábějí se ve velkém sortimentu výkonů, rozměrů a tvarů pro speciální úlohy osvětlení a zvláštní nároky. Nové tvary a barevné odstíny dávají bytovým a společenským prostorám příjemnou atmosféru.

Využití ve veřejném osvětlení :

V dnešní době se ve veřejném osvětlení jsou klasické žárovky téměř bez využití. Pouze v barevném provedení se mohou použít pro slavnostní a dekorativní osvětlení ulic.

Halogenové žárovky



Obr. 2.14 Příklady halogenových žárovek

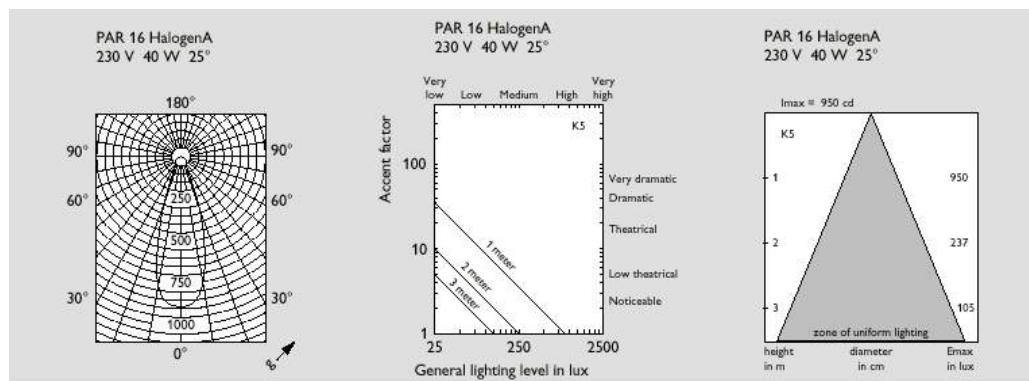
Halogenové žárovky poskytují o 20 % vyšší účinnost než standardní žárovky. Ve standardní žárovce se wolfram z vlákna žárovky vypařuje a pokrývá povrch baňky, čím se snižuje světelný tok ze žárovky. Vlákno se stává tenčím a nakonec se přeruší, čehož následkem je, že žárovka nesvítí. Halogen ve vnitřku baňky způsobuje, že vypařený wolfram se při povrchu banky slučuje s halogenem a vlivem tepelného pole se vrací zpět na vlákno, kde dochází k disociaci, tj. wolfram se usazuje na vlákno žárovky a halogen se vrací zpět k povrchu baňky. Světelný tok se zvyšuje a prodlužuje se život žárovek. Kruhový proces je základem pro následující výrazné přednosti halogenových žárovek:

- v důsledku vyšší teploty vlákna více světla
- permanentní obnovu vlákna, delší doba života
- stálá intenzita světla, protože nedochází ke zčernání baňky
- kompaktní tvar, který odpovídá tepelným požadavkům kruhového procesu
- delší život, dvojnásobný oproti běžným žárovkám

Halogenové žárovky poskytují příjemné svěží, bílé světlo s teplotou chromatičnosti až 3200 K. Index barevného podání světla halogenových žárovek je $R_a = 100$. Halogenové žárovky

jsou hospodárnější než standardní žárovky, jejich měrný výkon je $22 \text{ lm} \cdot \text{W}^{-1}$ a mají život 2000 hodin.

Halogenové žárovky se vyrábějí pro různé úhly vyzařování např. 10, 12, 25, 36 a 60°. Při návrhu osvětlovací soustavy je nutno s tímto faktorem uvažovat. Vyrábějí se širokém sortimentu výkonů na napětí 230 i na malé napětí. Žárovky na malé napětí se staly módní záležitostí ve světelné technice. Vyrábějí se buď bez odrazné plochy anebo mají dichroickou odraznou plochu, která omezuje tepelnou složku ve vyzařovaném záření asi na 66 %, což je výhodné při osvětlování předmětů, které jsou citlivé na infračervené záření.



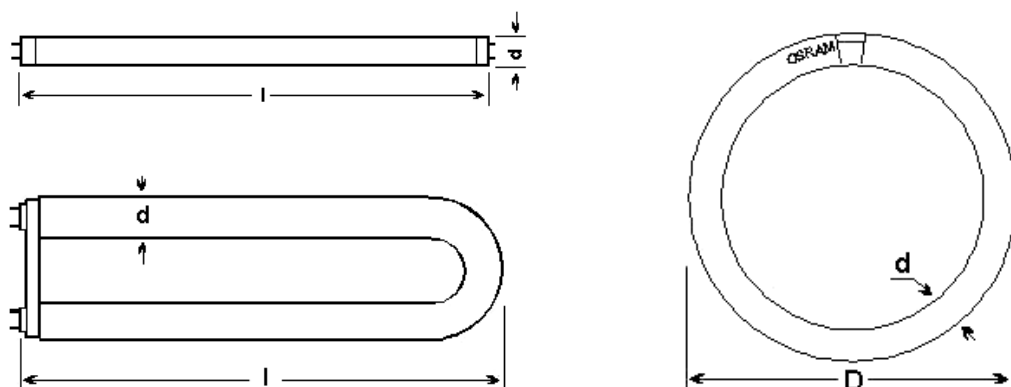
Obr. 2.15 Průběh svítivosti reflektorové žárovky

Využití ve veřejném osvětlení :

Trubkové halogenové žárovky se používají při osvětlování architektur, ale jsou vytlačovány stále levnějšími a spolehlivějšími výbojkami.

2.3.3 Výbojové světelné zdroje

Lineární zářivky



Obr. 2.16 Příklady zářivek

Zářivky jsou nízkotlaké rtuťové výbojky, vyzařují hlavně v oblasti ultrafialového záření, které se transformuje ve viditelné záření pomocí luminoforu.

Princip jejich funkce: ve skleněné trubici jsou vlivem elektrického pole mezi elektrodami vybuzeny páry rtuti 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.

Jako všechny výbojky ani zářivky se 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.

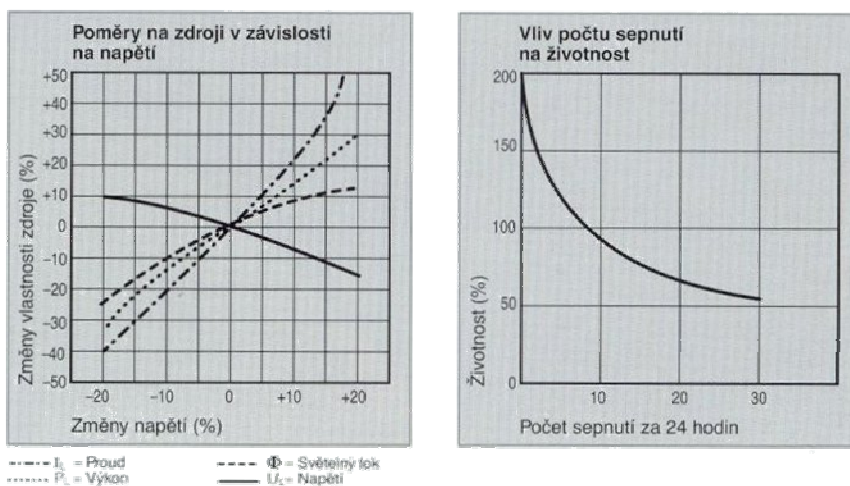
Optimální provoz s elektronickými předřadníky:

Moderní plně elektronické vysokofrekvenční provozní přístroje nahrazují konvenční předřadníky a startéry a starají se o ještě větší hospodárnost, vyšší světelný komfort a delší život zářivek. Nové zářivky mají průměr trubice jen 16 mm, jsou o 50 mm kratší, nabízejí vyšší měrný světelný výkon až 106 lm.W^{-1} a jsou určeny pouze pro provoz s elektronickými předřadníky. Ve svítidlech s rozměry pro dřívější zářivky T8 stoupne se zářivkami T5 hospodárnost až o 20 %. To vychází z:

- vyššího měrného světelného výkonu zářivek T5
- zvýšení účinnosti svítidla vlivem nižšího odstínění o 40 % štíhlejší zářivky
- úsporného provozu s elektronickým předřadníkem
- se systémem T5 je však možné konstruovat i nová super štíhlá svítidla s rozměry až o 50% nižšími.

Doba života zářivek je silně ovlivněna počtem zapnutí. Zářivky se proto nehodí tam, kde dochází k častému zapínání a vypínání. Lineární zářivky mají dobu života 12 000 hodin a jejich měrný výkon někdy převyšuje 100 lm.W^{-1} , při indexu podání barev přesahujícím hodnotu $R_a = 80$. Provozní vlastnosti zářivek jsou znázorněny na obrázku č. 2.17.

Provozní vlastnosti (provoz se startérem)

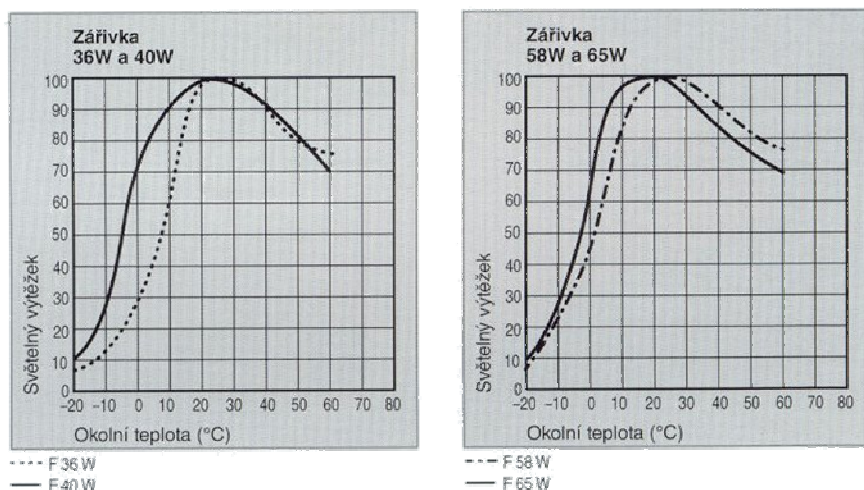


Obr. 2.17 Provozní charakteristiky zářivek

Zářivky potřebují ke své funkci startér a tlumivku anebo elektronický pořadník. Na rozdíl od žárovek, u kterých světelný tok dosahuje jmenovité hodnoty téměř okamžitě, zářivky dosahují

jmenovité hodnoty asi po 3 min. provozu. Žárovky jsou teplotně závislé a proto se nehodí do venkovních prostorů. Závislost světelného toku na okolní teplotě je znázorněna na obr. 2.18. U žárovkových osvětlovacích soustav, s konvekčními předradníky, hrozí nebezpečí vzniku stroboskopického efektu a proto je nutno rozdělit jejich napájení do všech fází anebo posunout např. u dvoutrubicových žárovek proud u jedné žárovky pomocí kondenzátoru.

Poměry světelného toku v závislosti na okolní teplotě

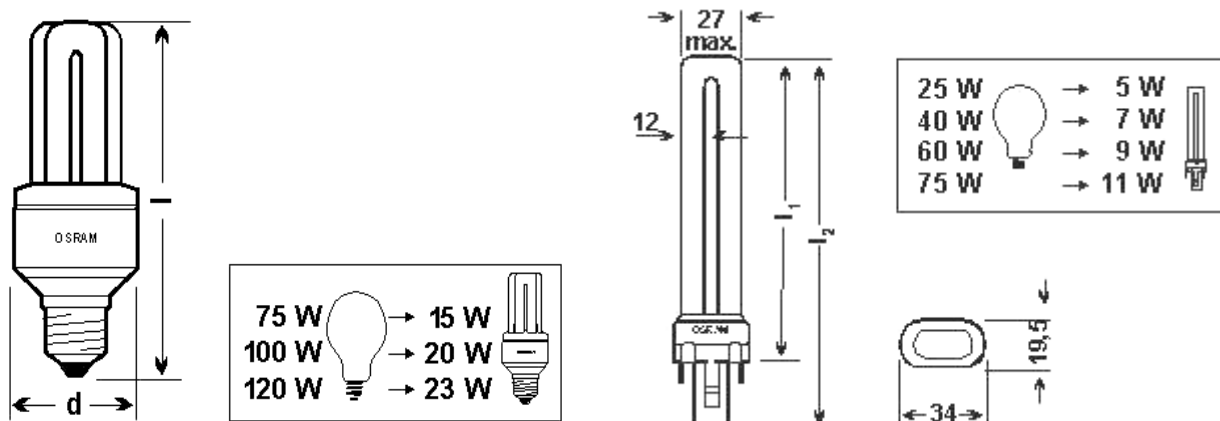


Obr. 2.18 Závislost světelného toku na teplotě

Využití ve veřejném osvětlení :

Žárovky našly použití zejména v osvětlování pěších zón, podchodů, parkové zeleně, někdy i menších komunikací.

Kompaktní žárovky



Obr. 2.19 Příklady kompaktních žárovek

Úsporné kompaktní žárovky vyrábějí světlo na stejném principu jako žárovky. 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 skleněných trubiček a díky rozdělení na větší počet trubiček podařilo dosáhnout rozměrů srovnatelných se standardními žárovkami.

Kompaktní zářivky můžeme rozdělit do tří skupin:

- kompaktní zářivky jako úsporná alternativa žárovek
- kompaktní zářivky pro zvlášť malá svítidla
- kompaktní zářivky jako zmenšená alternativa lineárních zářivek

Všechny kompaktní zářivky nabízejí vysokou hospodárnost:

- až 80 % úspory nákladů na el. energii oproti stejně svítícím žárovkám
- 8 až 12 krát delší život než mají žárovky

Provoz s elektronickým předřadníkem zabezpečuje vysoký komfort:

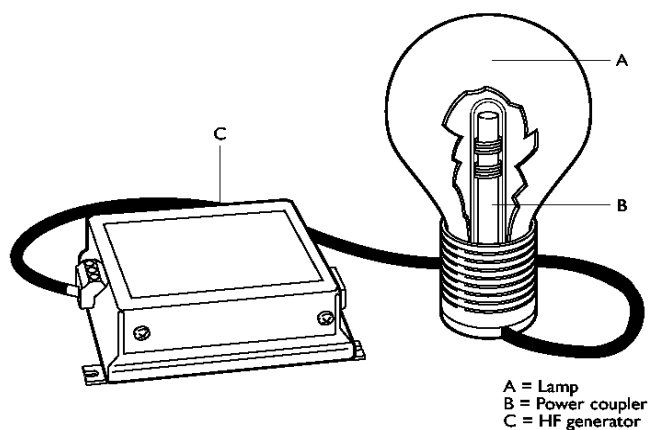
- okamžitý start bez blikání
- provoz bez míhání
- vysoká odolnost proti častému spínání
- delší život
- odstranění stroboskopického efektu a kmitání světelného toku

Kromě těchto vlastností předřadníky umožňují regulaci světelného toku, nepotřebují kompenzační kondenzátor, je zde možnost napájení více zdrojů. Používají se předřadníky hybridní a elektronické, které jsou v provedení „in“ (kompaktní) a nebo v provedení externím. Měrný výkon kompaktních zářivek je v porovnání s běžnými typy žárovek přibližně pětinasobně vyšší. Současně dosahovaný střední život zářivek je 12 000 hodin, zatím co střední život žárovek je 1000 hodin.

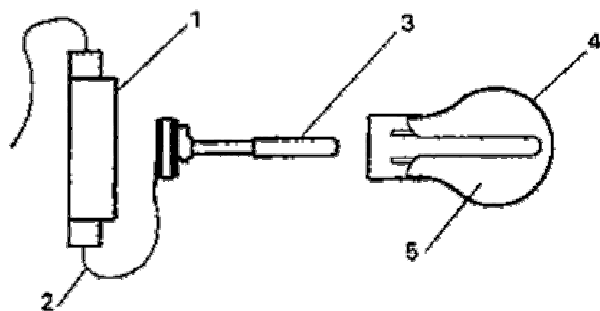
Využití ve veřejném osvětlení :

Kompaktní zářivky s elektronickým předřadníkem se používají pro osvětlení např. pěších zón a nákupních center. Speciálně pro použití při nízkých teplotách vyvinula firma OSRAM kompaktní zářivku L 18 W a 24 W SP. Maximum jejího světelného toku je posunuto z oblasti 25 °C k 5 °C. Kromě toho nabízí OSRAM elektronické předřadníky speciálně koncipované pro venkovní použití, které jsou chráněny proti škodlivým vlivům vlhkosti.

Indukční výbojky



Obr. 2.20 Příklady indukčních výbojek QL



Obr. 2.21 Konstrukce indukční výbojky

- 1 – vf generátor, 2 – koaxiální kabel, 3 – feritové jádro s indukční cívkou,
4 – bezelektrodová výbojka s luminoforem, 5 – plynná náplň

Do okruhu nízkotlakých výbojových zdrojů patří i světelný zdroj využívající principu indukce. Tento zdroj lze právem považovat za světelný zdroj třetí generace nebo světelný zdroj budoucnosti. I když na principu vysokofrekvenčního buzení výboje v bezelektrodovém výbojovém prostoru se pracuje v laboratořích světových firem již po desetiletí, výbojku použitelnou se podařilo uvést na trh firmě PHILIPS teprve v roce 1993 pod označením QL (quality lighting).

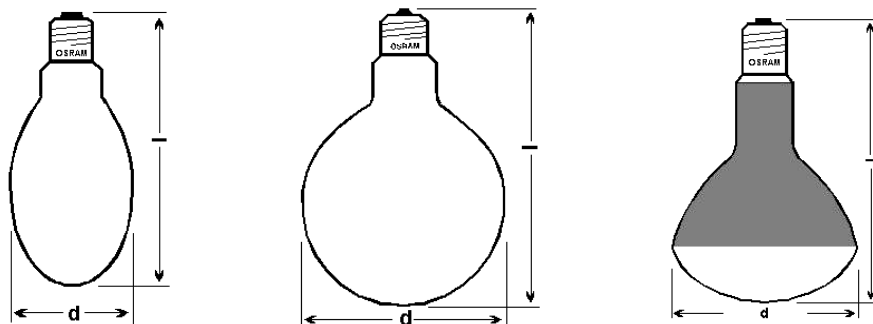
Princip funkce : Do hruškovité baňky je zatavena z jedné strany otevřená trubice, do níž se vkládá feritové jádro s indukční cívkou napájenou proudem o frekvenci 2,65 MHz. Baňka nemá žádné elektrody, obsahuje pouze inertní plyn a páry rtuti. Atomy rtuti vybuzené vysokofrekvenčním polem vytvářeným cívkou, emitují ultrafialové záření, které je transformováno luminoforem na viditelné světlo. Vlivem bezelektrodové konstrukce se dosahuje extrémně dlouhého života, podle údajů výrobce až 60 000 h, a to při velmi dobré stabilitě světelného toku v průběhu svícení. Výbojky se vyznačují všemi přednostmi, které poskytuje provoz na vysoké frekvenci. V současné době jsou výbojky vyráběny s příkonem 55 W a 85 W s účinností asi 65 lm.W^{-1} a 70 lm.W^{-1} při Ra větší nebo rovno 80. Doba náběhu činí 0,5 s, doba znovuzápalu je rovněž asi 0,5 s. Důležitou výhodou výbojek je jejich konstantní světelný tok v širokém teplotním rozsahu. Jejich aplikace zároveň podstatně snižuje náklady související s údržbou osvětlovací soustavy. Na podobném principu pracuje indukční výbojka vyráběná firmou OSRAM pod názvem ENDURA např. o příkonu 150 W.

Využití ve veřejném osvětlení :

Indukční výbojky se hodí pro veřejné osvětlení z důvodu minimální závislosti světelného toku na okolní teplotě, ale zatím je málo vhodných svítidel. Platí tu výhoda vysokého světelného toku a extrémně dlouhý život bez údržby. Uplatňuje pro osvětlení tunelů a míst, které se vyznačují složitou údržbou.

Vysokotlaké rtuťové výbojky

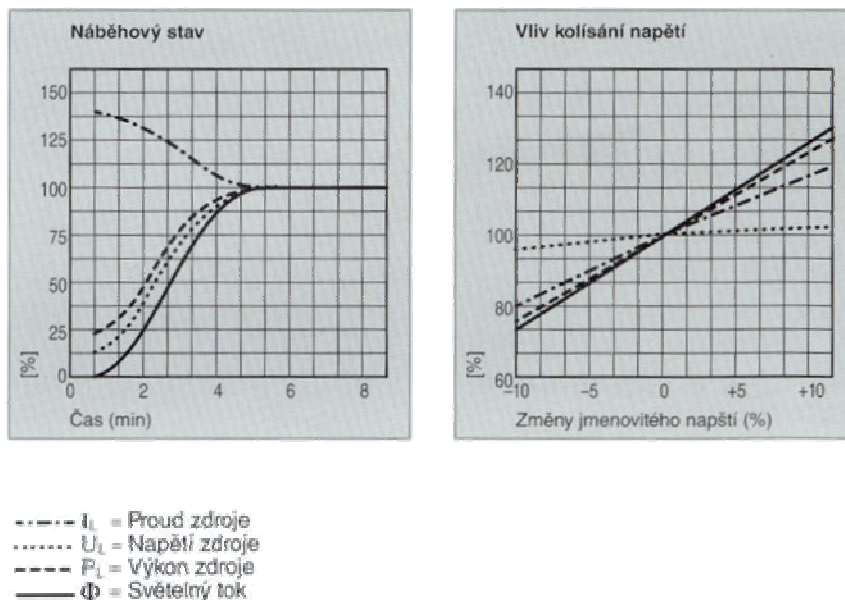
Viditelné záření vzniká u těchto zdrojů obloukovým výbojem v parách rtuti při tlaku 0,1 MPa ve výbojové trubici z křemenného skla. Toto záření se transformuje pomocí luminoforu do viditelné oblasti. Hlavní elektrody tvoří wolframový drát pokrytý emisní vrstvou kysličníku barya, stroncia a vápníku.



Obr. 2.22 Příklady vysokotlakých rtuťových výbojek

Vysokotlaké rtuťové výbojky vyzařují do viditelné oblasti asi 15% přivedené energie, jejich světlo je modrobílé a modrozelené. Červená složka světla chybí a z tohoto důvodu se nanáší na vnitřní stěnu venkovní baňky ortofosfátový luminofor pro zabezpečení transformace UV záření do červené oblasti spektra. K ustálení výboje rtuťových výbojek dochází až po 3 - 5 minutách. Po přerušení výboje dojde k opětovnému znovuzapálení až po 7 minutách. Výhodou těchto výbojek je malý pokles světelného toku během života, odolnost proti změnám teploty, odolnost proti otřesům a menší poruchovost v důsledku menšího počtu kontaktů ve srovnání se zářivkami. Doba života je až 12 000 až 15 000 hod, index barevného podání $R_a = 50$, měrný výkon 50 až 80 lm.W^{-1} . Tyto výbojky mají nevýhodu v tom, že k ustálení parametrů dochází asi až po 5 min po startu, a proto se nehodí k osvětlování vnitřních prostorů. Používají se k osvětlení průmyslových prostorů, ulic a sportovišť.

Vysokotlaké rtuťové výbojky HSL



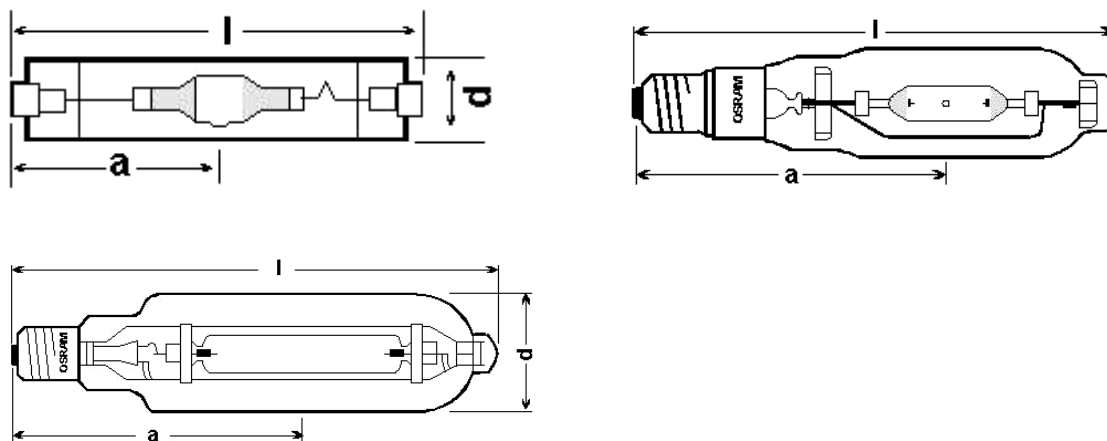
Obr. 2.23 Provozní charakteristiky vysokotlakých rtuťových výbojek

Využití ve veřejném osvětlení :

Přesto, že podíl těchto výbojek ve spotřebě postupně klesá a jsou nahrazovány účinnějšími halogenidovými a zejména vysokotlakými sodíkovými výbojkami, lze očekávat jejich

používání i v nejbližší budoucnosti pro poměrně nízkou cenu a jednoduchou údržbu osvětlovací soustavy. Používají se pro osvětlení v pěších zónách, v zahradách, v parcích, nákupních pasážích a veřejných prostorech.

Halogenidové výbojky



Obr. 2.24 Příklady halogenidových výbojek

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

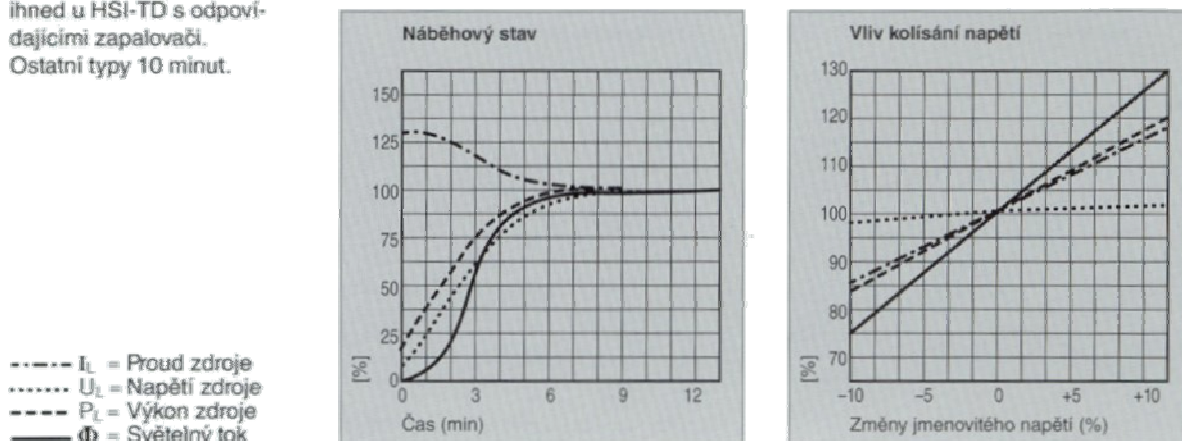
V křemenném hořáku vzniká cyklus podobný regeneračnímu cyklu jako u halogenových žárovek. Tlak rtuťových par je $0,5 \text{ MPa}$ a tlak příměsí $1,33 \cdot 10^2 \text{ Pa}$. Venkovní banka je z borosilikátového skla. Halogenidové výbojky pracují při venkovní teplotě -20 až $60 \text{ }^\circ\text{C}$. Doba života těchto výbojek dosahuje až $15\,000$ hod.

Halogenidové výbojky vyžadují zapalovač, který se používá doutnavkový, tyristorový nebo v dnešní době elektronický. Tyto zapalovače byly zdroji častých poruch, které měly příčinu v tom, že zapalovací pulsy pokud nedošlo k úspěšnému startu výbojky, probíhaly neustále až došlo k poškození zapalovače. Toto je v dnešní době ošetřeno zapalovačem s odpojovačem, který po třech neúspěšných zapáleních přeruší zapalovací proces. Výkonová řada začíná na 35 W a končí na $3\,500 \text{ W}$. Tvar baňky a patice se vyrábí v nejrůznějších provedeních, do jmenovitých parametrů nabíhá výbojka asi za 10 min. Halogenidové výbojky, přes vysokou cenu, se začínají prosazovat hlavně tam, kde jsou vysoké požadavky na barevné podání. Jedná se o kinematografii a osvětlování sportovišť, kde se předpokládá televizní vysílání atd.

Za nový trend v oblasti vysokotlakých výbojových zdrojů se považuje halogenidová výbojka s hořákem s korundové keramiky. Jde o zdroj, který kombinuje vynikající vlastnosti keramického hořáku vyplývající z jeho vysoké teplotní odolnosti s širokými možnostmi upravovat spektrum záření díky možnosti používat velký počet různých svítících příměsí a jeho kombinací. Výsledkem jsou výbojky, které se vyznačují velkou účinností $85\text{--}95 \text{ lm} \cdot \text{W}^{-1}$ a to i při malých příkonech a velmi dobrým podáním barev.

Čas opětného zapálení:
ihned u HSI-TD s odpovídajícími zapalovači.
Ostatní typy 10 minut.

Halogenové výbojky s kovovými parami HSI

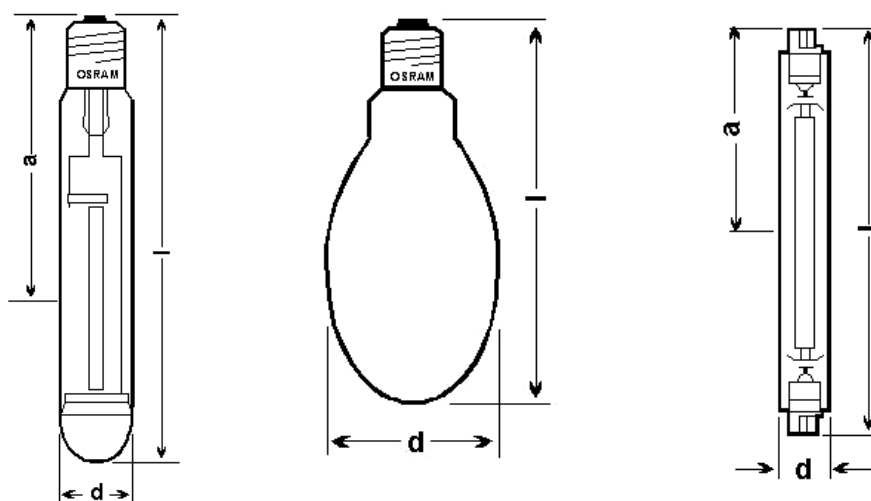


Obr. 2.25 Provozní charakteristiky halogenidových výbojek

Využití ve veřejném osvětlení :

Výbojky jsou vzhledem k náročné technologii výroby velmi drahé a tudíž pro masové nasazení do systémů VO nevhodné. Použití však nacházejí při osvětlování velkých prostranství, osvětlování objektů a speciální účely.

Vysokotlaké sodíkové výbojky



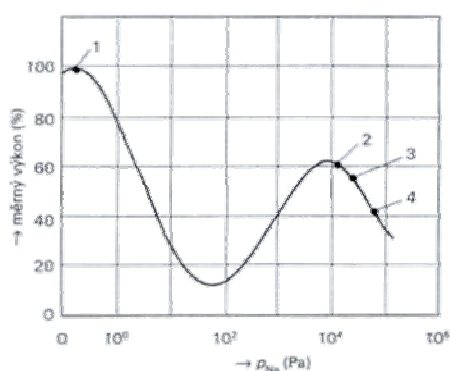
Obr. 2.26 Příklady vysokotlakých sodíkových výbojek

Výboj v parách sodíku je ze světelně technického hlediska velmi zajímavý. Sodík se vyznačuje intenzitním rezonančním dubletem ve žluté části viditelného spektra s vlnovou délkou 589,0 a 589,6 nm, která se blíží maximu spektrální citlivosti lidského oka (555 nm).

Těchto vlastností, vedle nízkého budicího potenciálu uvedené čáry, se využívá již od třicátých let při konstrukci nízkotlakých sodíkových výbojek, v nichž tlak par sodíku při pracovní teplotě 270 °C dosahuje hodnoty asi 0,5 Pa. Při zvyšování tlaku par sodíku světelná účinnost

klesá, prochází minimem a dále opět stoupá, takže při tlaku kolem 27 kPa dosahuje druhého maxima viz. obr. č. 2.27 a v závislosti na dalších parametrech (složení amalgamu sodíku, druh a tlak plnicího plynu, geometrické parametry hořáku, příkon výbojky apod.) může dosáhnout hodnoty až 150 lm.W^{-1} . Při rostoucím tlaku par sodíku dochází k výraznému rozšíření spektrálních čar a ke vzniku silného spojitého záření, přičemž zároveň je absorbováno záření rezonanční. Se zvyšujícím se tlakem je stále zřetelnější asymetrie rozšiřování rezonančních čar do dlouhovlnné části spektra. Spektrum záření je bohatší, což má za následek i lepší podání barev osvětlovaných předmětů. Tento druh výboje je využíván u moderních vysokotlakých sodíkových výbojek, které se výrazně prosadily zejména v uličním, ale i v průmyslovém osvětlení.

Vysokotlaké sodíkové výbojky jsou tedy světelné zdroje, v nichž světlo vzniká hlavně zářením sodíkových par s pracovním parciálním tlakem v rozmezí 3 až 60 kPa.

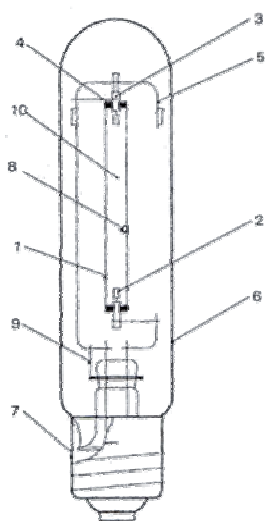


Obr. 2.27 Závislost měrného výkonu na tlaku sodíkových par

- 1 – nízkotlaké sodíkové výbojky
- 2 – vysokotlaké sodíkové výbojky standardní
- 3 – vysokotlaké sodíkové výbojky se zlepšeným podáním barev $R_a = 60$
- 4 – vysokotlaké sodíkové výbojky s vynikajícím podáním barev R_a je větší než 80

Konstrukce vysokotlaké sodíkové výbojky je naznačena na obr. 2.28. Hořák je zhotoven z průsvitného korundu (alfa – modifikace Al_2O_3 s příměsí MgO). Trubice je na obou koncích uzavřena proudovými průchodkami různého provedení, které jsou ke korundové trubici připájeny pomocí skelné pájky na bázi $\text{Al}_2\text{O}_3 - \text{CaO}$ s některými dalšími příměsmi (např. SrO , TiO_2 , BaO). Kvalita pájky rozhodujícím způsobem ovlivňuje život výbojky. Průchodky musí odolávat dlouhodobému působení sodíkových a rtuťových par při vysokých pracovních teplotách a velkým teplotním nárazům při zapínání a vypínání výbojky.

K čelu niobové průchodky je pomocí titanu připájena wolframová elektroda, na níž je nanesena emisní vrstva na bázi wolframu barya. Polohou elektrody v hořáku lze regulovat teplotu prostoru za elektrodami. Tato teplota určuje tlak par sodíku v hořáku, a tím i základní elektrické a světelné parametry výbojky. Rtuť se sodíkem se do hořáku dává v podobě amalgámu příslušného složení. Hořák se plní inertním plynem, jehož funkce je stejná jako u jiných vysokotlakých výbojek. Z hlediska měrného výkonu je nejvhodnější xenon, protože zajišťuje nejmenší teplotní ztráty ve výboji a největší měrný výkon. Hořák je vložen do vnější baňky, vyčerpané na vysoké vakuum, které snižuje tepelné ztráty hořáku a současně chrání niobové průchodky před oxidací. Výbojka je opatřena běžnou závitovou patičí E27 nebo E40 s keramickým kamenem.



Obr. 2.28 Konstrukce vysokotlaké sodíkové výbojky

- 1 – korundový hořák
- 2 – elektroda
- 3 – niobová průchodka
- 4 – skelná pájka
- 5 – nosný rámeček
- 6 – vnější baňka
- 7 – patice
- 8 – amalgám sodíku
- 9 – baryový getr
- 10 – inertní plyn

Použití xenonu nebo argonu jako plnicího plynu způsobuje, že výbojka má vyšší zápalné napětí, takže k jejímu zapálení je nutné používat zapalovací zařízení generující vysokonapěťový impuls s amplitudou 2,8 až 4,5 kV. Z tohoto hlediska je nejvýhodnější tzv. Penningova směs ($\text{Ne} + 0,5 \% \text{Ar.}$), která umožňuje zapálit výboj i bez zapalovače, avšak měrný výkon výbojek je asi o 25 % menší než při použití xenonu. Tato náplň našla své použití u sodíkových výbojek, které jsou určeny jako přímá náhrada rtuťových výbojek v již existujících instalacích bez nutnosti použití zapalovače a výměny tlumivky. Taková náhrada přináší až 15 % úsporu elektrické energie a zároveň i 20 až 35 % zvýšení hladiny osvětlenosti bez velkých investičních nároků.

Sortiment vysokotlakých sodíkových výbojek je velmi široký a lze jej rozdělit do osmi příkonových řad.

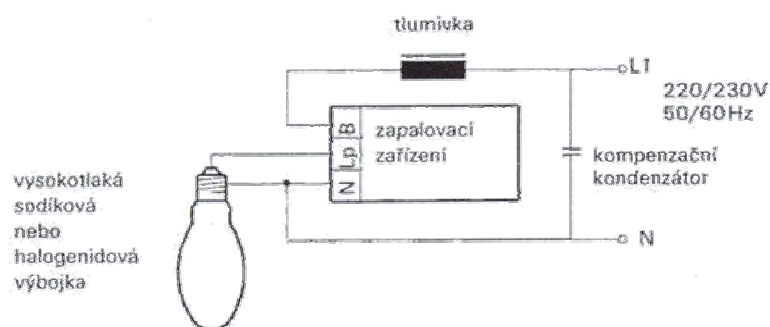
Tab. 2.3 Základní sortiment vysokotlakých sodíkových výbojek

Provedení výbojky	Jmenovité příkony (W)	měrný výkon (lm.W^{-1})	Patice
standardní s čírou válcovou baňkou	50, 70,	70 až 130	E 27
	100, 150, 250, 400, 1000		E 40
standardní s eliptickou baňkou s rozptylovou vrstvou	50, 70,	70 až 117	E 27
	150, 250, 400,		E 40
výbojky s Penningovou směsí, s eliptickou baňkou s rozptylovou vrstvou	110,	73 až 100	E 27
	210, 340		E 40
výbojky se zvýšeným tlakem xenonu s čírou válcovou baňkou	50, 70,	80 až 150	E 27
	100, 150, 250, 400, 600		E 40

výbojky se zvýšeným tlakem xenonu s eliptickou baňkou s rozptylovou vrstvou	100, 150, 250, 400	95 až 130	E 40
dvoupaticové s křemennou vnější baňkou s keramickou paticí	70, 150, 250, 400	100 102 až 120	RX7s RX7s-24 Fc2
výbojky se zlepšeným podáním barev jednopaticové s válcovou čirou nebo matovanou baňkou $R_a > 80$	35, 50, 100 80	39 až 49	PG 12-1 PG 12-3
výbojky se zlepšeným podáním barev jednopaticové s čirou válcovou baňkou $R_a > 80$	150, 250, 400	47 až 64	E 40

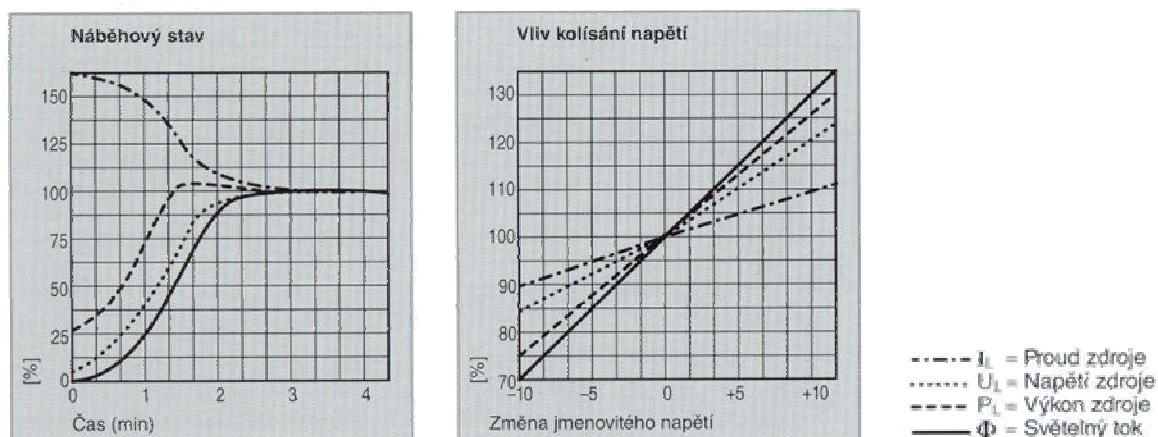
Vysokotlaké sodíkové výbojky je nutné provozovat v obvodu s tlumivkou a vhodným zapalovacím zařízením, který vyhovuje mezinárodním normám CEI. Schéma zapojení je uvedeno na obr. 2.29 a je shodné se zapojením halogenidových výbojek. Při dodržování provozních podmínek (povolené kolísání napětí menší než 5%, správně dimenzované tlumivky) výbojky předních výrobců dosahují života 16 000 až 28 000 hod. Ukončení života je dáno postupným nárůstem napětí na výboji. Při překročení určitého poměru tohoto napětí vzhledem k napájecímu napětí sítě výboj zhasne. Po vychladnutí výbojka znovu zapálí a celý cyklus se opakuje. Periodické zhasínání výbojek je příznakem ukončení života a výbojku je nutné vyměnit.

Zavedení vysokotlakých sodíkových výbojek do osvětlovací praxe přináší celému hospodářství státu významné úspory elektrické energie. Podíl vysokotlakých sodíkových výbojek ve veřejném osvětlení narůstá. Je příjemné konstatovat, že Česká republika patří v tomto směru k zemím s nejvyšším podílem.



Obr. 2.29 Schéma zapojení halogenidové a vysokotlaké sodíkové výbojky

Sodíkové výbojky vysokotlaké SHP



Obr. 2.30 Provozní charakteristiky vysokotlakých sodíkových výbojek

Novinku v oblasti vysokotlakých sodíkových výbojek uvedla na trh např. firma Sylvania. Jedná se o vysokotlaké sodíkové výbojky, neobsahující rtuť, označované SHP mercury Free. výbojky se vyznačují zvýšeným světelným tokem, odpovídajícím výbojkám super, vyšším indexem barevného podání ($R_a = 25$) a náhradní teplotou chromatičnosti (2200 K) a kratší dobou náběhu. Výbojky se provozují na standardních předřadnících. Jelikož výbojky neobsahují rtuť, není nutno likvidovat vyhořelé zdroje jako nebezpečný odpad.

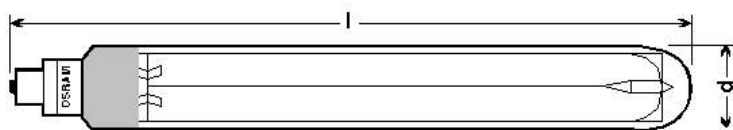
Využití ve veřejném osvětlení :

Od 80. let mají dominantní postavení ve světelných zdrojích pro VO ve většině zemí vysokotlaké sodíkové výbojky. Tyto světelné zdroje rychle, zvláště ve větších městech, postupně nahradily méně účinné výbojky rtuťové. Použitím vysokotlakých sodíkových výbojek se mohl na jednotlivých světelných místech snížit instalovaný příkon až o dva příkonové stupně, využitím moderních svítidel s nastavitelnou křivkou svítivosti se v nových instalacích mohly zvětšit i vzdálenosti stožárů. Perfektní krytí těchto moderních svítidel (až IP 66) a dlouhý život výbojek současně na minimum snížily náklady na údržbu. Toto řešení, spolu s možností přechodného snížení příkonu v době snížení dopravního zatížení komunikací pomocí technických prostředků předurčuje vysokotlaké sodíkové výbojky jako nejefektivnější světelné zdroje pro veřejné osvětlení.

Vysokotlaké sodíkové výbojky mají ve VO univerzální použití, tj. jsou vhodné pro osvětlování veškerých komunikací, pěších zón i osvětlování fasád objektů. Výhodou vysokotlakých sodíkových výbojek je měrný výkon až 150 lm/W, dlouhý život (dnes již výrobci udávají 24 000 i více hodin), což umožňuje provádět hromadnou výměnu zdrojů až po 4 letech. Určitou nevýhodou těchto zdrojů je barva vyzařovaného světla, která způsobuje horší barevné podání osvětlovaných předmětů, zvláště např. zeleně. Pro VO se dnes používají sodíkové vysokotlaké výbojky nízkých příkonů, a to v obcích 50, 70, na průtahu 100 a 150 W, ve městech též do 150 W, na širokých výpadevkách i 250 W. Výbojky vyšších příkonů lze použít na osvětlování fasád památných budov.

Nízkotlaké sodíkové výbojky

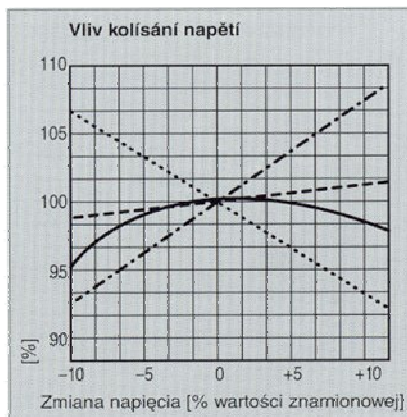
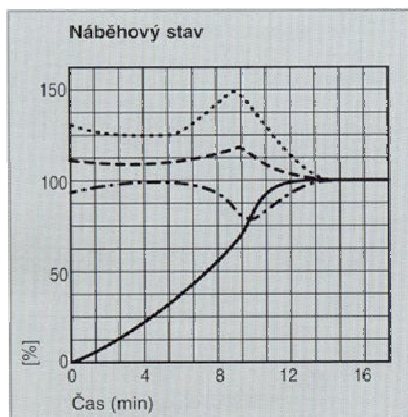
U sodíkových výbojek nastává výboj ve výbojové trubici vyhotovené z polykrystalického anebo monokrystalického kysličníku hlinitého, která je naplněna argonem, neonem a sodíkem. Při tlaku sodíkových par 0,5 Pa a teplotě stěny výbojové trubice 270 až 300 °C vyzáří monochromatické záření v pásmu vlnových délek 589 a 589,6 nm ve žluté oblasti spektra. Záření sodíkové výbojky je v blízkosti maxima spektrální citlivosti lidského oka s vysokým měrným výkonem 130 až 200 lm.W⁻¹. V jejich světle není možné rozlišovat barvy $R_a = 0$, život výbojky dosahuje až 24 000 hod.. Výbojová trubice sodíkových výbojek má kruhový průřez a ohýbá se do tvaru písmena U nebo W. Venkovní baňka tepelně izoluje výbojovou trubici, je jednoduchá a vyčerpaná na vysoké vakuum.



Obr. 2.31 Příklad nízkotlaké sodíkové výbojky

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

Nízkotlaké výbojky SLP



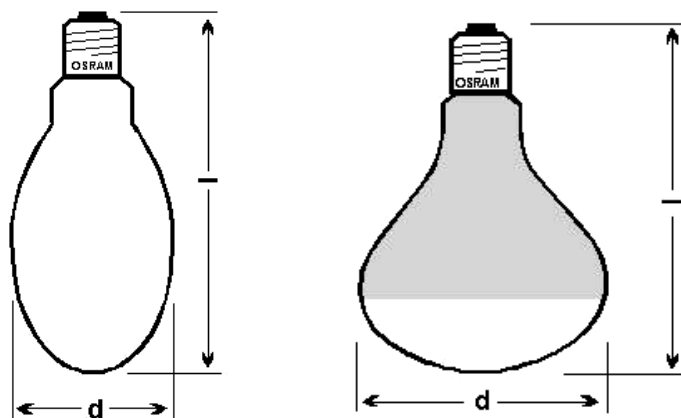
Čas opětného zapálení:
5 - 8 minut v závislosti na době vypnutí.
Při krátkodobém přerušení napětí okamžitě.

--- I_L = Proud zdroje
----- U_L = Napětí zdroje
--- P_L = Výkon zdroje
— Φ = Světelný tok

Obr. č. 2.32 Provozní charakteristiky nízkotlakých sodíkových výbojek

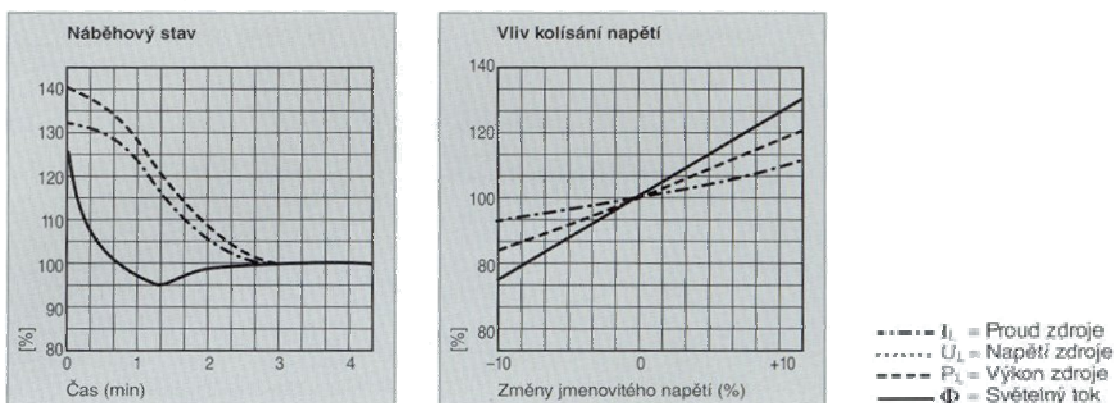
Směšové výbojky

Směšové výbojky poskytují světlo z emise elektronů wolframového vlákna a elektrického výboje ve výbojové trubici a plní funkci záměny přímo ze žárovky bez používání předradníku. Poskytují příjemné teplo bílou barvu světla s $T_c = 3500$ K a mají život až 16 000 hodin.



Obr. 2.33 Příklady směsových výbojek

Směsové výbojky HSB



Obr. 2.34 Provozní charakteristiky směsových výbojek

Firma OSRAM poskytuje směsové výbojky HWL v tvaru elipsoidu a ve tvaru hříbu. K funkci potřebují předřadník s vlastním doutnavkovým zapalovačem anebo předřadník s vlastním jiskrovým zapalovačem. Vnitřní stěnu venkovní baňky mají pokrytou ytriumvanadovým luminoforem. V provozu bez předřadníku mají vyšší výkon a 5-ti násobnou dobu života ve srovnání s klasickou žárovkou. Jsou ideální pro cenově výhodnou výměnu zdrojů u stávajících svítidel osazených běžnými žárovkami. V podobě reflektorových žárovek bez předřadníku s neustále bílou barvou a dobrým barevným podáním se používají jako světelné zdroje pro osvětlení rostlin.

Využití ve veřejném osvětlení :

Používají se pro osvětlení historických částí měst, pro osvětlení pěších zón, parků a zahrad.

Sodíkoxenonové vysokotlaké výbojky

Díky elektronickým předřadníkům a vysokofrekvenčnímu provozu byl umožněn rozvoj a uvedení na trh vysokotlakých sodíkoxenonových výbojek bez obsahu rtuti, s vynikající barevnou stabilitou, a výborným barevným podáním a velmi dobrým měrným výkonem systému. Pro dosažení podstatně lepšího barevného podání bez přítomnosti rtuti je nutno vybudit vyšší energetické přechody sodíku. Dosáhne se toho zvýšením teploty plazmy v hořáku pomocí vyšší frekvence cca 20 kHz. Hořák ovšem nemůže být vystaven tak vysoké

teplotě po celou dobu provozu, a proto je základní frekvence cca 20 kHz modulována ještě frekvencí cca 200 Hz. Znamená to, že impulzy 20 kHz o délce kolem 1 ms jsou od sebe vzdáleny cca 5 ms. Elektronický předřadník je řízen mikroprocesorem a kontroluje parametry výboje po celou dobu života výbojky tak, že je zaručena konstantní teplota chromatičnosti a podání barev.

Během doby života, u klasických sodíkových vysokotlakých výbojek, roste postupně napětí na výboji. Elektronická regulace je však uzpůsobena tak, že drží konstantní teplotu chromatičnosti a barevné podání.

Firma OSRAM vyvinula jako první výbojku s přepínatelnou barvou světla. Brilantní halogenové světlo s teplotou chromatičnosti 3 100 K nebo teplé žárovkové světlo s teplotou chromatičnosti 2 700 K.

Přepínatelná barva světla nabízí základní výhody potřebují-li měnící se objekty různé světlo k optimální prezentaci. Obzvláště dobře jsou prezentovány například červené barevné odstíny teplým světlem a bílé nebo modré odstíny studenějším světlem. Dosud se muselo u vysokotlakých výbojek smířit s jistou změnou barvy během doby života, zvláště na jejím konci. To neplatí např. pro DSX systém od firmy OSRAM. Zde kontroluje stále světelnou kvalitu mikroprocesorem řízený elektronický předřadník. Eventuelní odchylky od teploty chromatičnosti a podání barev jsou okamžitě doregulovány na předepsané hodnoty. Tím nevznikají žádné barevné odchylky, což je garantováno po celou dobu života zdroje až k automatickému odpojení na jeho konci. Výbojka neobsahuje rtuť a lze ji tedy snadno recyklovat.

Doba života těchto zdrojů dosahuje až 15 000 hodin, měrný výkon 56 lm.W^{-1} , index podání barev $R_a = 75/85$.

Mezi základní přednosti patří:

- dlouhý život (střední doba života 15 000 h)
- bez blikání (cyklování) díky spolehlivému odpojení systému v případě poruchy nebo na konci života
- bezrtuťové výbojky mohou být bez problému recyklovány jako skleněný odpad
- světlo bez ultrafialové složky snižuje lákání létavého hmyzu oproti rtuť obsahujícím výbojkám až o 80 %. a tím se také redukuje špinění svítidla

Využití ve veřejném osvětlení :

Používá se pro osvětlení historických center hlavních měst, pěších zón, veřejných prostranství a parkovišť, ulic se sníženým provozem a možné je také použití pro osvětlení objektů.

Sirné výbojky

Jedná se vysokotlaké výbojky s náplní síry a kulovým svíticím tělesem o průměru od 5 do 29 mm. Vlastní výboj je buzen v křemenném hořáku mající tvar koule, která rotuje v elektromagnetickém poli magnetronu (2,45 GHz). Výboj probíhá v parách síry, přičemž spektrum vyzařovaného světla se blíží slunečnímu, při vynikající účinnosti dosahující až 130 lm.W^{-1} a vysokém indexu podání barev $R_a = 85$. Život je limitován spolehlivostí magnetronu a dosahuje rovněž hodnot převyšujících 50 000 hodin. Zatím jsou tyto výbojky používány v kombinaci s dutými světlovody. Toto řešení je výhodné při osvětlování místností s nebezpečím výbuchu, kdy světelný zdroj lze umístit mimo tuto místnost. Úbytek světelného toku na konci života je menší než 10 %.

Orientační přehled parametrů základních typů svítidel

Tab. 2.4

Světelný zdroj		Příkon (W)	Světelný tok (lm)	Měrný výkon (lm.W ⁻¹)	Život zdroje (h)	Index podání barev R _a	Teplota chrom. T _c (K)
žárovka klasická na síťové napětí		40	430	10,8	1000	100	2500 až 3000
		60	730	12,2			
		100	1380	13,8			
		200	3150	15,8			
žárovka halogenidová na síťové napětí	s vnější baňkou a paticí E 27	60	840	14	2000 až 4000	100	3000
		100	1600	16			
		150	2550	17			
	dvoupaticová	100	1650	16,5	2000	100	3000
		200	3200	16			
		1000	22000	22			
zářivka dvoupaticová – lineární luminofor třípásmový, nižší obsah Hg	26 mm	18	1350	75	10000 až 16000	> 80	2700 až 6500
		36	3350	93			
		58	5200	89,7			
	16 mm	21	2100	100	16000	> 80	
		28	2900	103,6			
		35	3650	104,3			
zářivka jednopaticová kompaktní s vestavěným elektronickým předřadníkem patice E 27		7	400	57,1	10000	> 80	2700 až 6500
		11	600	54,5			
		15	900	60			
		20	1200	60			
		23	1500	60			
výbojka rtuťová vysokotlaká s luminoforem		125	6300	50,4	6000 až 12000	50	3150
		250	13000	52			
		400	22000	55			
výbojka halogenidová		75	5800	77,3	9000 až 12000	60 až 89	3000 až 5600
		150	13000	86,7			
		250	20000	80			
		400	42000	105			
		2000	240000	120			
		3500	320000	91,4			
výbojka sodíková	vysokotlaká	50	3500	70	16000 až 28000	20 až 65	2050
		70	6500	92,9			
		150	17000	113,3			
		250	33000	132			
		400	55500	138,8			
	nizkotlaká	35	5750	164,3	12000 až 24000	0	-
		65	10700	164,6			
		90	17000	188,9			
		127	25000	196,9			

2.3.4 Nové trendy v oblasti světelných zdrojů

Hlavní trendy lze shrnout do následujících bodů:

- trvalé zvyšování provozní spolehlivosti a účinnosti přeměny elektrické energie na světelnou, zejména u výbojových zdrojů
- aplikace technologie tenkých vrstev pro zlepšení teplotní bilance svítícího tělesa zejména u halogenových žárovek
- zvyšující se podíl zářivek s průměrem 16 mm v celkovém objemu výroby lineárních zářivek
- všeobecná snaha zmenšovat rozměry světelných zdrojů
- pokračující rozmach svítících diod do dalších oblastí osvětlování
- trvalá snaha výrobců kompaktních zářivek dosáhnout při zachování deklarované energetické výhodnosti těchto světelných zdrojů skutečně rovnocenné podmínky osvětlení na pracovní ploše
- další rozšiřování sortimentu halogenidových výbojek s hořákem s korundové keramiky
- rozšiřování sortimentu bezelektrodoých světelných zdrojů
- souvislý tlak na zvyšování ekologičnosti vyrábění světelných zdrojů, a to nejen z hlediska výrobce, ale i spotřebitele (recyklovatelnost)
- pokračující elektronizace prakticky všech oblastí světelné techniky počínaje předřadnými obvody pro výbojové zdroje až po komplexní integrální řízení osvětlení v objektech pomocí počítačů v závislosti na požadovaných podmínkách s cílem dosažení světelného komfortu a současně i úspor elektrické energie
- rozšiřující se aplikace světlometů.

Do nejnovějšího trendu v oblasti světelných zdrojů patří svítící diody.

V posledních letech se stále více v nejrůznějších světelně technických aplikacích prosazují elektroluminiscenční diody (LED). K jejich význačným přednostem patří minimální spotřeba elektrické energie (typická spotřeba 50 mW), stabilní svítivost v průběhu života, velmi malé rozměry (jedná se prakticky o bodové zdroje), malá závislost parametrů na teplotě okolí, poměrně dobrá účinnost (kolem 40 lm.W^{-1} v závislosti na barvě) převyšující účinnost trpasličích žárovek, široký sortiment výrazných (syťých) barev, malé napájecí napětí, nízká povrchová teplota, extrémně dlouhý život, možnost dosáhnout velké směrové svítivosti použitím vhodné čočky, malá závislost na teplotě okolí atd. Objevují se dokonce konstrukce, v nichž jsou svítivé diody zabudovány do baňky normální žárovky. Rozhodně se jedná o velmi perspektivní světelný zdroj s vynikajícím použitím v řadě oblastí, především v signalizaci.

Mezi nový trend patří také zvýšení „ekologičnosti“ světelných zdrojů, který se projevuje tlakem na výrobce používat materiály a technologické postupy, které jsou co nejšetrnější jak během výroby, tak během provozu a zejména pak při likvidaci po ukončení života světelného zdroje.

Tímto způsobem již byly v minulosti úplně z konstrukčních prvků světelného zdroje vyloučeny takové prvky jako arsen a kadmium z luminoforů, trvale se zpříšňují požadavky na snižování množství rtuti ve všech výbojových zdrojích. Například u zářivek se množství snížilo z cca 150 mg až na 3 mg, část sortimentu vysokotlakých sodíkových výbojek se vyrábí bez rtuti. Snižuje se obsah PbO ve skleněných polotovarech, omezuje se používání butylacelátu při přípravě luminoforových suspenzí.

2.4 Svítidla ve veřejném osvětlení

2.4.1 Úvod

Svítidla jsou přístroje, které tvoří základní prvky osvětlovacích soustav. Skládají se z části světelně činných a částí konstrukčních. Světelně činné části slouží ke změně rozložení světelného toku, k rozptylu toku, k zábraně oslnění, snížení jasu, po případě ke změně spektrálního rozložení světla. 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.

Obecné požadavky na svítidla VO:

1) světelně-technické vlastnosti

- světelná účinnost má být vysoká t. j. 80 – 85 %
- svítidlo musí usměrnit světlo pouze do požadovaných směrů
- rozložení svítivosti v jednotlivých rovinách má umožnit docílení požadovaného jasu, resp. intenzity osvětlení
- zábrana oslnění se vyžaduje a je předepsána u vyšších stupňů osvětlení v závislosti na zařazení příslušné komunikace do stupně osvětlení
- stálost světelně technických vlastností,

2) konstrukční řešení

- požaduje se jednoduchá montáž,
- přístup k světelnému zdroji, svorkovnici, předřadníku apod. má být nekomplikovaný a bez použití speciálního nářadí,
- krytí optické části má vyšší požadavky než prostor pro elektroinstalační materiál,
- doba životnosti svítidla se posuzuje podle doby stálosti světelně-technických vlastností,
- možnost recyklace použitých materiálů,

3) tvarové a barevné řešení

- vhodnost použití pro motoristické komunikace,
- vhodnost použití pro pěší zóny,
- respektování urbanistiky a památkově ceněných oblastí,
- tvar svítidla by neměl podléhat krátkodobým módním vlivům.

2.4.2 Světelně technické parametry svítidel

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 tabulce č. 2.5.

Účinnost svítidla

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

$$\eta_{sv} = \frac{\Phi_{sv}}{\Phi_z} \quad (-; \text{lm}, \text{lm}) \quad (2.14)$$

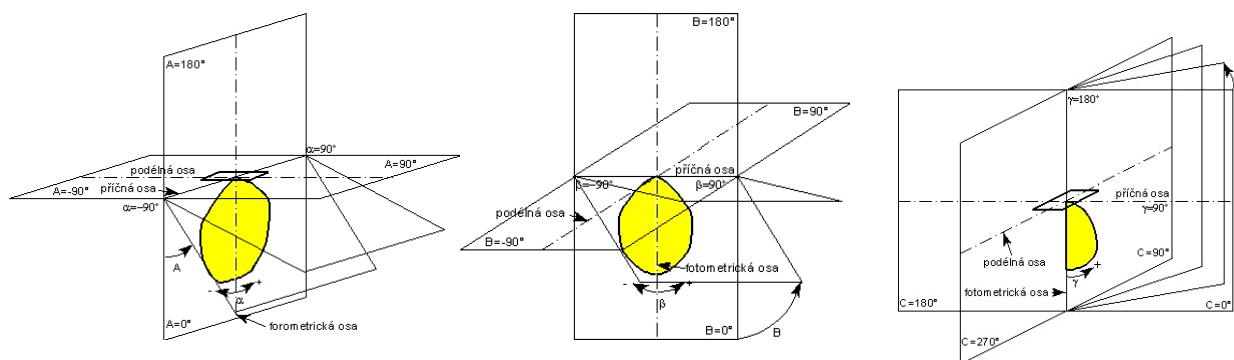
Maximální účinnost by měl z tohoto hlediska holý světelný zdroj v objímce. Ten však není možné použít s ohledem na oslnění, nevhodné směřování vyzařovaného světla a ochrany před povětrnostními vlivy. Z hlediska maximálního využití dodávané elektrické energie je třeba dosahovat vysokých hodnot této veličiny.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

Zářivky mají světelný tok závislý na teplotě a dle CIE se pro zářivková svítidla definuje optická a provozní účinnost. Optická účinnost se stanovuje z hodnot světelného toku svítidla a zdrojů při provozních teplotách. Provozní účinnost je určena tokem svítidla při provozní teplotě a tokem zdroje při jmenovité teplotě, která se uvažuje pro zářivky 25 °C.

Svítivost svítidel

Prostorové rozložení svítivosti svítidla je 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 plochou svítivosti postačí křivka v jedné fotometrické rovině. U zářivkových svítidel se zpravidla udávají dvě křivky a to v rovinách C₀ a C₉₀. U venkovních svítidel se z důvodů zábrany oslnění předepisují pro dané stupně oslnění maximální hodnoty svítivosti a to pro určité směry ve vybraných rovinách v soustavě C- γ . Rozložení svítivosti daného svítidla lze též znázornit pomocí izokandelového diagramu.

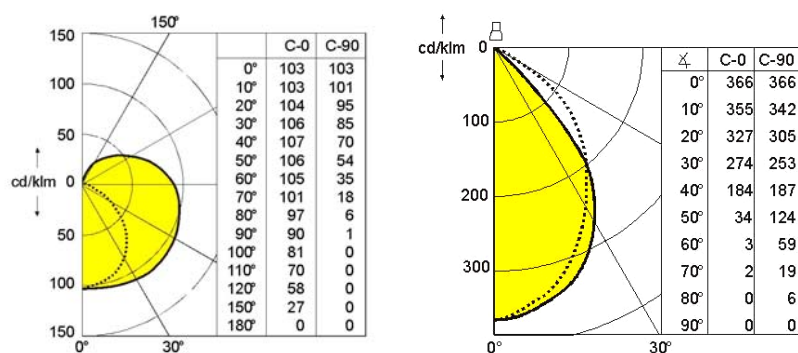


Obr. 2.35 Křivky svítivosti ve fotometrických systémech A- α , B- β , C- γ

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_{stř} dle vztahu:

$$K_F = \frac{I_{\max}}{I_{\text{stř}}} \quad (-; \text{cd}, \text{cd}) \quad (2.15)$$

Rozdělení svítidel podle tvaru křivky svítivosti je uvedeno v tabulce 2.6.



Obr. 2.36 Příklady křivek svítivosti

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.

$$L_{\gamma} = \frac{I_{\gamma}}{A \cdot \cos \gamma} \quad (\text{cd} \cdot \text{m}^{-2}; \text{cd}, \text{m}^2) \quad (2.16)$$

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

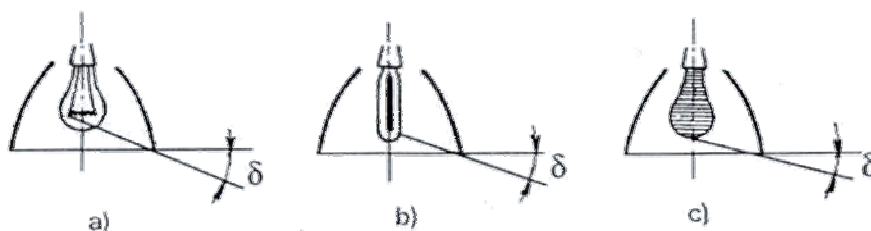
A ... je velikost svítící plochy viditelné pozorovatelem

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.

2.4.3 Geometrické parametry

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



Obr. 2.37 Úhel clonění u svítidla.

a) žárovkového, b) s výbojkou s čirou baňkou, c) s výbojkou opatřenou luminoforem nebo s opálovou žárovkou

2.4.4 Konstrukční prvky svítidel

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

- 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, zkřehnutí, 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, zkřehnutí, 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. 2.38 Příklad světelně činné části svítidla VO

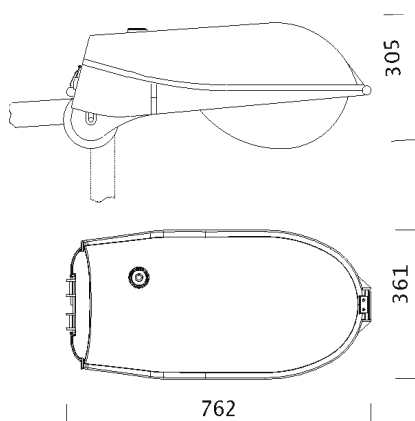
K propustným materiálům světelně činných částí se používají:

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. Některé části se vyskytují u všech svítidel, jiné jen tam, kde to vyžadují podmínky použití nebo světelné zdroje.

Mechanické části svítidel slouží nejen jako ochranné nebo nosné části světelných zdrojů, ale i světelně technických a elektrotechnických konstrukčních prvků. Slouží k upevnění svítidel. 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. Jako ochranná skla jsou převážně používána křemenná skla. Svítidla musí mít potřebnou mechanickou pevnost a musí být odolná vůči korozi, vyhovět předepsaným oteplovacím zkouškám a být elektromagneticky slučitelná.



Obr. 2.39 Příklad mechanické konstrukce svítidla VO

2.4.5 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. Podole oblasti použití je možné rozlišit svítidla vnitřní a venkovní.

Podstatné vlastnosti aplikační jsou ovšem dány světelně technickými vlastnostmi. 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. 2.5 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

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 tabulky 2.6.

Tab. 2.6 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. 2.7 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.

- Svítidlo třídy 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.
- Svítidlo třídy II obsahuje jako ochranu před nebezpečným dotykem dvojitou nebo zesílenou izolaci.
- Třída III označuje svítidla na bezpečné napětí.

Svítlidla 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 dvojčíslicím. 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. Krytí svítidel VO se dnes používá od IP 43 přes IP 54 až do IP 66. Vyšší ochrana proti vniknutí prachu a vody znamená prodloužení života optického systému svítidla a snížení nákladů na jeho údržbu (čištění). Nejčastěji používané způsoby k zajištění IP 65 nebo IP 66 jsou použitím:

- speciálního těsnění, které umožňuje dýchání optické komory bez jejího znečištění
- uhlíkového filtru, který zabraňuje nasávání znečištěného vzduchu okolí.

Tab. 2.8 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.

2.4.6 Elektrické příslušenství svítidel VO

Předřadník

Pro činnost výbojového světelného zdroje 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.

Přednosti použití elektronických předřadníků pro zářivky, kompaktní zářivky, halogenové žárovky a vysokotlaké výbojky jsou:

- úspory energie
- delší životnost světelného zdroje
- tichý provoz bez blikání
- nízká váha, malé rozměry
- automatické odpojení na konci života světelného zdroje
- vyšší spolehlivost provozu
- nižší náklady na instalaci

Elektrické předřadníky musí splňovat určité základní podmínky v oblasti kvality a spolehlivosti:

- splňovat požadavky daného světelného zdroje
- elektromagnetickou snášenlivost
- spolehlivost provozu a dlouhý život



Obr. 2.40 Příklad elektronického předřadníku pro vysokotlakou výbojku

Zapalovač

Používá se jako součást svítidel pro vysokotlaké sodíkové a halogenidové výbojky. Nejdůležitější vlastností zapalovače je velikost zapalovacího impulsu. Pro bezpečný a rychlý start, zvláště u znovuzápalu horké výbojky, musí být zapalovací impuls dostatečně vysoký a musí také obsahovat dostatečné množství energie. Zápal smí nastat pouze u maximálních okamžitých hodnot síťového napětí. Dobré zapalovací přístroje se vyznačují fázovou polohou impulsů mezi 60 – 90° a 240 – 270°. Po úspěšném zapálení nesmí zapalovač znovu startovat. Pro přerušení startovacího procesu se nyní dosahuje zapalovači s odpojovačem. Toto přerušení je využíváno například při cyklickém zapínání a vypínání výbojky, kdy dochází ke vzniku vysokofrekvenčních polí.



Obr. 2.41 Příklad zapalovače pro vysokotlakou výbojku

Další díly a součásti

Do této skupiny příslušenství svítidel patří např. kompenzační a odrušovací kondenzátory, objímky, svorkovnice, průchodky, kabely, jistící přístroje, kabelové koncovky, regulovatelná čidla (spínací relé) pro automatické spínání svítidel v závislosti na denním osvětlení a frekvenci dopravy apod.

3. VEŘEJNÉ OSVĚTLENÍ

3.1 Základní pojmy a členění

3.1.1 Členění osvětlení

Pod pojmem "veřejné osvětlení" se obecně rozumí:

- osvětlení vnitřních částí měst a obcí
- osvětlení vnějších částí měst a obcí
- osvětlení parků
- osvětlení silnic, dálnic a vozovek se silnou dopravou
- osvětlení podjezdů a podchodů
- osvětlení tunelů
- osvětlení odstavných ploch (parkovišť apod.)
- slavnostní osvětlení (osvětlování významných budov, uměleckých děl, památek atd.).

Moderní urbanistické řešení vyžaduje další členění na:

- osvětlení sídlišť
- osvětlení obchodních čtvrtí nebo částí měst vyhrazených jen pro chodce (pěší zóny, pěší centrální oblasti měst)
- osvětlení základního komunikačního systému měst, mimoúrovňových křižovatek.

Každý z těchto druhů osvětlení je charakterizován účelem, kterého se osvětlením dosáhnout. Historicky nejstarším je činitel bezpečnosti. Již od středověku měli majitelé důležitých budov za povinnost opatřit fasády budov pochodněmi nebo jinými osvětlovacími prostředky a také toto osvětlení udržívat.

Rozvojem plynového a později elektrického osvětlení přibyl další sociální prvek, než je jen prostá bezpečnost osob a majetku, význam osvětlení pro zlepšení vzhledu města.

Vývoj rychlých dopravních prostředků, zejména osobních automobilů a jejich masový rozvoj i u nás, si vynucuje zásadní zlepšení všech činitelů vázaných na vozovku a její okolí.

3.1.2 Základní prvky veřejného osvětlení

Veřejné osvětlení je mnohaprvkový provozní soubor, který lze rozdělit do tří zásadních částí:

- osvětlovací systém
- napájecí systém
- ovládací (řídící) systém

Osvětlovací systém

V tomto členění zahrnuje světelné zdroje, svítidla, nosné a podpěrné prvky (stožáry, výložníky, převěsy)

Světelné zdroje

Dominantní postavení ve světelných zdrojích pro veřejné osvětlení měst a obcí představují vysokotlaké sodíkové výbojky o výkonech 50, 70, 100, 150, 250, 400 W. V některých vyspělých státech, kde již bylo přikročeno i k osvětlování celistvých úseků dálnic a silnic s

výlučně motoristickým provozem i vysoce výkonné nízkotlaké sodíkové výbojky. Pro správce je rozhodující posouzení velikosti světelného výkonu na instalovaný watt a život zdroje.

Svítidla

Je nutná odborná orientace správce v nepřeberném množství typů a druhů svítidel nejrůznějších výrobců a dovozců. Kriterialem musí být především fotometrická účinnost (podíl světelného toku dopadajícího na vozovku a celkového světelného toku emitovaného zdrojem světla), stupeň krytí světelně-činné (optické) části svítidla (nutno požadovat IP 65, s uzavřenou optikou a výměnami zdrojů do objímky v bajonetovém uzávěru s filtrem, který umožňuje tzv. "dýchání" svítidel bez nasávání atmosférických nečistot, zabraňuje svým provedením zásahu "lidského faktoru" při údržbě - např. vypadnutí těsnící gumy - s následným znečištěním světelně-činné části hmyzem a spadem. Dalším kriteriem musí být kvalita předřadníku (tlumivka, zapalovač, odrušení, kompenzace)

Nosné a podpěrné prvky

V podstatě rozhodují o životnosti celého zařízení, proto je nutné vyžadovat atest výrobce. Je nutno používat výhradně stožáry se zesílenou ochrannou manžetou v místě vetknutí do země, případně stožáry přírubové, stožáry s nejdokonalejší povrchovou úpravou (nejlépe vnější i vnitřní žárové pokovení). Důležité je i správné provedení základu stožáru a vstupu kabelového napájení do něj.

Napájecí systém

Tvoří elektrický rozvod z napájecích rozváděčů, přičemž již hlavní přívodní kabel z distribuční transformovny rozvodných závodů je v majetku a správě VO. Rozvody zapínacích rozváděčů se v místech nejkratšího přiblížení větví propojují tzv. havarijní smyčkou - t.j. nezapojený kabel zaústěný do stožárových rozvodnic nejbližších sousedních stožárů různých zapínacích bodů. Problémem napájecího systému VO je možné přepětí v síti (zejména v noční době při odlehčení zatížení energetické sítě), které výrazně zkracuje život světelných zdrojů. Proto je v poslední době dán důraz na doplňování napájecího systému VO stabilizátory a současně napěťovými regulátory. Při jejich výběru hraje hlavní roli pořizovací ceny, spolehlivost, poměr výkonu regulátoru a skutečného rovnoměrně rozloženého instalovaného příkonu zapínacího rozváděče.

Ovládací systém

Má zajistit spolehlivé zapínání a vypínání podle spínacího kalendáře VO, případně regulaci a zpětnou kontrolu stavu (svítí - nesvítí), nejlépe z jednoho místa. Ovládání je zpravidla provedeno:

- samostatnými ovládacími kabely od hlavního zapínacího místa
- kaskádní spojením (zapnuté VO od posledního stožárů zapíná další rozváděč)
- systémem HDO
- časovými spínači (hodinami - méně vhodné, časté přestavování, velká tolerance časů)
- fotoelektrickým spínačem (při dobrém seřízení - vhodnější než spínací hodiny)
- ručním zapínáním a vypínáním (neužívá se v praxi)

Jsou již zkoušeny modernější způsoby ovládání VO - dálkovým způsobem, radiem, využitím počítačové sítě, telefonních linek apod. Je nutné posoudit místní podmínky a možnosti a zvolit nejvhodnější způsob pro danou oblast.

Výklad ČSN 360400, 360410, které připouští vícestupňovou regulaci osvětlení, ale pro první tři stupně osvětlení vyžaduje zachování celkové rovnoměrnosti 1 : 2,5, je mnohdy velmi

svérázný a neodborný. Nelze si regulaci vykládat jako možnost vypínání osvětlovací soustavy (úseků, každý druhý stožár apod.), regulaci je možno provádět pouze snížením světelného toku zdrojů při současném snížení instalovaného příkonu svítidel. K tomu je nutné vybavit zapínací místa příslušným regulátorem napětí soustavy.

3.1.3 Základní názvosloví

Dle ČSN 36 0400 jsou uvedeny nejčastěji se vyskytující technické výrazy a popsán jejich smysl.

Světelné místo - je každý stavební prvek v osvětlovací soustavě (stožár, nástěnný výložník nebo převěs) vybavený jedním nebo více svítidly, nebo každé svítidlo v tunelech, průchodech apod.

Zapínací místo - je elektrický rozváděč, který slouží k napájení a spínání veřejného osvětlení v určité oblasti, případně, kde se měří spotřeba el. energie. V rozváděči může být i jiné zařízení pro ovládání a regulaci osvětlení.

Světelný zdroj - je zdroj záření určený pro přeměnu některé formy energie ve světlo (žárovka, zářivka, výbojka apod.)

Svítidlo - samostatné světelně-technické zařízení upravující světelný tok zdroje (jednoho nebo několika) k žádanému účelu. Obsahuje části potřebné k upevnění a ochranu světelných zdrojů a přívod energie k nim. Dále se dělí zejména na:

- výložníkové - k upevnění na výložník nebo podobnou konzolu
- dříkové (také sadové) - k upevnění svisle přímo na dřík stožáru
- převěsové - k upevnění na převěs.

Osvětlovací soustava - kompaktní soubor prvků tvořící funkční zařízení, které splňuje požadavky na úroveň osvětlení prostoru. Zahrnuje svítidla, podpěrné a nosné prvky, elektrický rozvod, rozváděče, ovládací systém.

Osvětlovací stožár - podpora, jejíž hlavním účelem je nést jedno nebo několik svítidel a který sestává z jedné nebo více částí: dříku, případně nástavce; případně výložníku

Dříkový stožár - stožár bez výložníku, který bezprostředně nese svítidlo (dříkové svítidlo).

Jmenovitá výška - vzdálenost mezi montážním bodem na ose vstupu výložníku (dříku stožáru) do svítidla a předpokládanou úroveň terénu u stožárů kotvených do země a nebo spodní hranou příruby stožáru u stožáru s přírubou.

Úroveň vetknutí - vodorovná rovina vedená místem vetknutí stožáru.

Vyložení - vodorovná vzdálenost mezi montážním bodem na ose vstupu výložníku do svítidla a osou stožáru (svislicí) procházející těžištěm příčného řezu stožáru v úrovni terénu.

Výložník - část stožáru, která nese svítidlo v určité vzdálenosti od osy dříku stožáru; výložník může být jednoramenný, dvouramenný nebo víceramenný a může být připojen k dříku pevně nebo odnímatelně.

Úhel vyložení svítidla - úhel, který svírá osa spojky (spojovací část mezi koncem dříku nebo výložníku a svítidlem) svítidla s vodorovnou rovinou.

Osvětlovací výložník - výložník k upevnění svítidla na budovu, na výškovou stavbu nebo na jiný stožár než osvětlovací.

Elektrická část stožáru (elektrovýzbroj) - rozvodnice pro osvětlovací stožár (ve skřínce na stožáru, pod paticí, v prostoru pod dvířky bezpaticového stožáru) a elektrické spojovací vedení mezi rozvodnicí a svítidlem.

Patice - samostatná část osvětlovacího stožáru, která tvoří kryt elektrické výzbroje.

Převěs - nosné lano mezi dvěma objekty, na kterém je umístěno svítidlo.

3.1.4 Veřejné osvětlení z hlediska ČSN norem

Problematika veřejného osvětlení je svým způsobem řešena v těchto českých normách a předpisech:

- ČSN 36 0051 Osvětlování povrchových dolů pro těžbu nerostných surovin
- ČSN 36 0061 Osvětlení železničních prostranství
- ČSN 36 0088 Osvětlování v zemědělských závodech
- ČSN 36 0400 Veřejné osvětlení
- ČSN 36 0410 Osvětlení místních komunikací
- ČSN 36 0411 Osvětlení silnic a dálnic
- ČSN 36 0451 Umělé osvětlení průmyslových prostorů.

3.2 Návrh veřejného osvětlení

3.2.1 Základní požadavky

Návrh veřejného osvětlení obsahuje tyto body:

- 1) zatřídění komunikace
- 2) přiřazení stupně osvětlení dané komunikaci
- 3) volba vhodného světelného zdroje a svítidla
- 4) návrh geometrických parametrů soustavy
- 5) kontrolní výpočet dosahované úrovně a kvality osvětlení
- 6) zpracování odpovídající dokumentace

3.2.2 Zatřídění komunikace

Pro stanovení potřebné osvětlenosti respektive jasu je třeba nejprve provést zatřídění podle tab. 3.1 normy ČSN 73 6110.

Tab. 3.1 Zatřídění komunikací

Třída	Charakteristika použití	Poloha v sídelním útvaru	Provoz
A1	rychlostní komunikace ve městech nad 250 tisíc obyvatel, průtah dálnic a rychlostních silnic ve městech nad 100 tisíc obyvatel, vazba na dálnice a rychlostní silnice	na hranici vyšších urbanistických celků	vyloučení přímého styku s okolním územím
A2	rychlostní komunikace ve městech nad 50 tisíc obyvatel, průtah rychlostních silnic ve městech nad 200 tisíc obyvatel, vazba na dálnice a rychlostní silnice	na hranici vyšších urbanistických celků	omezení přímého styku s okolním územím
B1	sběrné komunikace ve městech nad 20 tisíc obyvatel, průtah ve městech a střediskových obcích navazující na silnice I. a II. třídy	na hranici nižších územních útvarů	převážně dopravní význam, důraz na rychlost a omezení přímé obsluhy
B2	sběrné komunikace nižších obytných útvarů pro jejich obsluhu a průtahy silnic III. třídy nebo na ně navazující	mezi nižšími obytnými útvary	dopravní význam s částečnou přímou obsluhou
C1	městské třídy převážně společenského významu ve stávající zástavbě	obslužné osy městských útvarů	umožnění přímé obsluhy všech objektů
C2	obslužné komunikace doplňující spojení sběrných komunikací ve stávající a nové zástavbě	mezi nižšími obytnými útvary nebo uvnitř nich	umožnění přímé obsluhy všech objektů
C3	obslužné komunikace zpřístupňující objekty a území, ukončené někdy i slepě	uvnitř obytných útvarů	dtto
D1	pěší zóny	v historických a obchodních centrech	za stanovených podmínek povolena obslužná doprava, pěší ulice s vyloučením veškeré motorové dopravy
D2	cyklistické stezky, pruhy a pásy pro cyklistický provoz	neomezená	vyloučení nebo oddělení veškeré motorové dopravy
D3	stezky pro pěší, chodníky, průchody	dtto	dtto

Zatřídění komunikací je třeba konzultovat s referátem dopravy příslušného orgánu správa (okresní, krajský nebo obecní úřad), popřípadě se stavebním úřadem. Po zatřídění komunikací již lze stanovit požadavky na osvětlení komunikace podle tabulek č. 3.1 norem ČSN 36 0410 Osvětlení místních komunikací a ČSN 36 0411 Osvětlení silnic a dálnic, a to podle Změny č. 1 obou norem platných od 1.5.1992 (Tab. 3.2, Tab. 3.3).

3.2.3 Přiřazení stupně osvětlení

Zatřídění silničních a dálničních komunikací je provedeno dle ČSN 360411:

Tab. 3.2 Základní světelně technické požadavky na osvětlení silnic a dálnic

Stupeň osvětlení	Komunikace funkční třídy	Jas povrchu L_p (cd.m ⁻²)	Celková rovnoměrnost $L_{min} : L_p$ ($E_{min} : E_p$)	Podélná rovnoměrnost $L_{min} : L_{max}$ (hodnoty doporučené)	Stupeň oslnění
I	zvláště nebezpečné úseky silniční komunikace	1,6	1 : 2,5	1 : 1,4	1
II	dálnice a silnice I.třídy	0,8	1 : 2,5	1 : 1,4	1

III	silnice II. třídy	0,4	1 : 2,5	1 : 2	2
IV	silnice III. třídy	0,2	1 : 4	1 : 4	2

Zatřídění místních komunikací je provedeno dle ČSN 36 0410:

Tab. 3.3 Základní světelně technické požadavky na osvětlení místních komunikací

Stupeň osvětlení	Komunikace funkční třídy	Jas povrchu vozovky L_p (cd.m ⁻²)	Osvětlenost povrchu vozovky E_p (lx)	Celková rovnoměrnost $L_{min} : L_p$ ($E_{min} : E_p$)	Podélná rovnoměrnost $L_{min} : L_{max}$ (hodnoty doporučené)	Stupeň oslnění
I	A2-rychlostní směr. nerozdělené B1-sběrné C1-obslužné	1,6	-	1 : 2,5	1 : 1,4	1
II	A1-rychlostní A2-rychlostní směr. nerozdělené B2-sběrné směr. nerozdělené	0,8	-	1 : 2,5	1 : 1,4	1
III	B2-sběrné směr. nerozdělené C2-obslužné směr. nerozdělené	0,4	-	1 : 2,5	1 : 2	2
IV	C2-obslužné směr. nerozdělené C3-obslužné	-	4	(1 : 5)	-	2
V	D1-nemotoristické zklidňené kom. D2-nemotoristické cyklistické	-	2	(1 : 10)	-	-
VI	D3-nemotoristické pro pěší	-	0,1 (min. hodnota v ose kom.)	-	-	-

3.2.4 Oslnění a adaptační pásma

Oslněním se hodnotí dvojím způsobem:

- příslušný stupeň oslnění se stanoví podle omezení svítivosti použitých svítidel v rozsahu polorovin C0 až C15 a C165 až C180. Tento způsob hodnocení se používá ve většině případů
- stupeň oslnění se hodnotí podle relativního zvýšení prahu rozlišitelnosti k_r . V ČSN 36 0400, tab. 3 je uvedena maximální hodnota tohoto činitele. Toto hodnocení se používá ve zvláštních případech, např. osvětlení mimoúrovňových křižovatek za použití vysokých stožárů.

Tab. 3.4 Stupeň omezení oslnění na silničních komunikacích

Stupeň oslnění	Maximální svítivost v polorovinách C0 až C15 a C165 až C180 v úhlu		Relativní zvýšení prahu rozlišení k_r při	
	$\gamma = 90^\circ$	$\gamma = 180^\circ$	světlém okolí	tmavém okolí
1	10 cd na 1000 lm max. 500 cd	30 cd na 1000 lm max. 1000 cd	10%	10%
2	50 cd na 1000 lm max. 1000 cd	100 cd na 1000 lm max. 2000 cd	20%	20%

Adaptační pásma se zřizují na komunikacích, kde hlavním účelem veřejného osvětlení je osvětlení pro motorovou dopravu, jestliže rychlost pohybu vozidla je větší než 60 km/hod.

Norma stanovuje délky dílčích úseků adaptačních pásem i způsob jejich provádění, pro který platí tyto zásady:

- použití svítidel s menším příkonem, avšak se stejným typem světelných zdrojů
- prodloužení roztečí stožárů při zachování typu soustavy a závěsné výšky.

Adaptační pásmo zabezpečuje postupné snížení úrovně VO na hladinu průměrného jasu $0,2 \text{ cd.m}^{-2}$, při které již výjezd do tmy nečiní oku řidiče větší problémy.

Adaptační pásma ve městě – vjezdů a výjezdů k obchodním centrům:

Jasy rozdílně osvětlených úseků komunikace jsou v poměru větším než 1 : 10, investoři supermarketů požadují na výjezdě intenzitu osvětlení 100 lx, navazující komunikace je dimenzována na prům. osvětlenost 4 lx. Je nutno zvolit adaptační pásmo. Správce VO při schvalování PD výše uvedené stavby musí požadovat doložení výpočtu VO ve všech místech navazující komunikace na vjezd či výjezd parkoviště nové stavby obchodního centra.

3.2.5 Geometrie osvětlovací soustavy, stožáry

Rozdělení komunikací

- na směrově rozdělené a směrově nerozdělené
- na jednosměrné a obousměrné
- podle počtu dopravních pruhů na dvou, tři, čtyř a šestipruhové

Soustavy

- osová
- jednostranná
- vystřídaná
- párová

Stožáry, svítidla, světelné zdroje

Osvětlovací stožáry jsou typové. K závěsné délce stožáru je nutno navrhnout výložník, délka vyložení je normalizována dle ČSN 34 8340. Sklon výložníku je zpravidla vodorovný, max. úhel vyložení 4° , na toto vyložení jsou konstruována svítidla pro VO, jejich konstrukce zaručuje, že řidič nebude oslněn zdrojem při obvyklém směru pohledu. Nakloněním svítidla nedochází k podstatnému zvýšení rovnoměrnosti, klesá však průměrná intenzita osvětlení a zvyšuje se riziko oslnění. Volba svítidel a zdrojů viz kap. 2.3 a 2.4.

3.2.6 Kontrolní výpočet dosahované úrovně a kvality osvětlení

Není předepsána jednotná závazná metoda pro výpočet veřejného osvětlení. Kontrola parametrů se však provádí dle výpočetních metod přílohy ČSN 36 0400. Je nutné provést bodový výpočet kontrolního místa – plocha mezi dvěma světelnými místy. V příčném směru je dostačující provádět výpočet ve třech kontrolních bodech v každém jízdním pruhu. V podélném směru, při rozteči světelných míst do 50 m je dostačující provádět výpočet v 10 kontrolních bodech. Při rozteči větší než 50 m smí být rozteč kontrolních míst maximálně 5 m. Při předepsaném rozmístění kontrolních míst se průměrná počáteční hodnota intenzity osvětlení, případně jasu, určí jako aritmetický průměr hodnot v jednotlivých kontrolních bodech. Nutno tuto hodnotu upravit udržovacím činitelem.

3.2.7 Zpracování projektové dokumentace

Viz kapitola 3.4.

3.3 Doporučení pro osvětlení důležitých a nebezpečných míst

3.3.1 Oblouky

Oblouky o poloměru 1000 m a více lze osvětlovat stejně jako přímé úseky komunikace. U menších poloměrů v jednostranné soustavě mají být svítidla z důvodu optického vedení umístěna na vnějším obvodu ve zkrácených roztečích.

3.3.2 Úrovňové křižovatky

Platí zásada, že bez ohledu na typ soustavy na navazující komunikaci, umísťuje se vždy svítidlo po levé straně vozovky, zhruba 3 m před ohybem křižovatky. Křižovatka se osvětluje na stupeň osvětlení odpovídající nejvyššímu stupni osvětlení komunikaci ústící do křižovatky. Pokud nastane případ, že se kříží dvě komunikace, jejichž osvětlení se liší víc než o 1 stupeň, musí se na méně osvětlené komunikaci provést na úseku v délce minimálně 1 prvku osvětlovací soustavy zvýšení osvětlení tak, aby byla zaručena adaptace lidského oka.

3.3.3 Mimoúrovňové křižovatky

Při osvětlování z vysokých stožárů se stupeň oslnění hodnotí podle relativního zvýšení prahu rozlišitelnosti. Uspořádání světelných míst má vytvářet správné optické vedení řidiče a nezkreslovat představu o uspořádání křižovatky.

3.3.4 Železniční přejezdy

Přejezdy mají zpravidla v místě křížení s komunikací jiný povrch než je na komunikaci a proto nelze při výpočtu uvažovat o jasových hodnotách. Dle ČSN 36 0410, čl. 3.6.4. se požaduje, aby na přejezdech byla dosahována stejná intenzita osvětlení jako na navazující komunikaci. U přejezdů nepřesahujících šířkou rozteč soustavy, není potřebné provádět zvláštní opatření, pouze u mnohakolejových přejezdů je nutno přilehlá místa posílit.

3.3.5 Osvětlení zastávek MHD

V prostoru zastávky má být zajištěna průměrná intenzita osvětlení 8 lx, při rovnoměrnosti osvětlení 1 : 3. Na komunikacích vyšších stupňů osvětlení je automaticky tato intenzita zaručena. Pro dobrou orientaci řidiče MHD se doporučuje posílit osvětlení v místech zastávek o 50%.

3.3.6 Přechody pro chodce

Na komunikacích je provozováno veřejné osvětlení na principu negativního kontrastu. Tento způsob osvětlení je tedy potřebné podporovat i v místě přechodu, tzn. neumísťovat svítidlo těsně před přechod nebo nad něj, což zbytečně zvyšuje osvětlení chodce a vyrovnává tak kontrast s pozadím. Vzhledem k zákonu č. 361/2000 Sb. o provozu na pozemních komunikacích je nutno věnovat zvýšenou pozornost osvětlení přechodů pro chodce - při

návrhu osvětlovací soustavy umísťovat stožáry VO ke stávajícím přechodům dle výše uvedených zásad, při budování nových přechodů respektovat stávající soustavy VO, případně navrhnout posílení stávajícího VO.

Tento požadavek nelze požadovat dodatečně na správci VO, již při návrhu nových osvětlovacích soustav a také nových přechodů pro chodce je nutno učinit potřebná opatření pro bezpečnou rozlišitelnost chodce. V rámci dokumentace nového přechodu pro chodce je nutno řešit i osvětlení přechodu. Návrh osvětlení přechodu je nutno odsouhlasit se správcem zařízení VO Ostravskými komunikacemi, a.s., souhlasné stanovisko je nedílnou součástí PD nového přechodu pro chodce.

3.3.7 Veřejné parkoviště otevřené

Požadovaná intenzita osvětlení parkoviště je 20 lx. Na výjezdu a vjezdu do parkoviště je nutno hladinu osvětlení přizpůsobit navazující komunikaci. Nejedná se o parkoviště, která jsou provozována na dočasně volných plochách (prolukách) i v centru města.

3.3.8 Tunely, podjezdy, podchody, průchody a pasáže

Tato problematika není řešena normou. Při navrhování osvětlení tunelů je vhodné se řídit doporučení „Zásady pro osvětlování tunelů a podjezdů“ - Ing. J. Kotek, 1992. Osvětlení v noci - úroveň jasu a jeho rovnoměrnosti by měla být stejná jako na navazující komunikaci. Tunely a podjezdy kratší než 25 m ve dne nepotřebují umělé osvětlení. V tunelech a podjezdech o délce 25 až 75 m není ve dne umělé osvětlení potřebné, je-li ve vzdálenosti rovné délce celkové brzdné dráhy před vjezdem do tunelu vidět celý profil výjezdu z tunelu nebo při nízké hustotě provozu. V ostatních případech se osvětlují dle metodiky výpočtu, např. Příloha A „Technologické vybavení tunelů pozemních komunikací“, ELTODO a.s., 1997.

Podchody lze osvětlovat jako vnitřní komunikace s ohledem na akomodaci zraku při vstupu a východu, intenzita osvětlení v noci - 20 až 50 lx, osvětlení závisí na hladině okolního venkovního osvětlení, ve dne dle důležitosti daného prostoru 20 až 100 lx s výrazným přisvětlením vstupů, rovnoměrnost osvětlení - 1 : 5. Doporučuje se osvětlovat svítidly z nerozbitného materiálu - např. polykarbonátů.

Osvětlení průchodů, pasáží a polyfunkčních domů - kritériem pro osvětlení těchto objektů veřejným osvětlením je vlastnictví objektu. Majitel objektu je povinen o svůj objekt pečovat. Pokud je dům či objekt obce nebo města, pak je nutno průchody, které jsou využívány veřejností celých 24 hodin denně osvětlit z VO, jinak je součástí VO osvětlení vchodu a východu. Ostatní osvětlení je provozováno na náklady majitelů objektů. Při privatizaci či výstavbě nových takovýchto budov je nutno zjistit za jakých podmínek byl objekt prodán či vybudován, zda bylo zřízeno věčné břemeno a učiněna písemná dohoda mezi majitelem VO a majitelem objektu o jeho provozování.

3.3.9 Cesty pro cyklisty

Cyklistické stezky mají být osvětleny v zastavěné části obce a místech křížení s komunikacemi s motorovou dopravou. Již při návrhu cyklistické stezky musí být součástí projektové dokumentace také posouzení osvětlení této komunikace. Je nutno posoudit stávající osvětlení, pokud je nevyhovující provést návrh nové osvětlovací soustavy nebo posílení stávající soustavy, nelze vybudovat cyklistickou stezku a následně požadovat po

správci VO její osvětlení. Je nutno navrhovat tuto místní komunikaci včetně veřejného osvětlení jako kteroukoliv jinou místní komunikaci (silnici, chodník) ve městě.

Vzhledem na rychlost pohybu cyklistů musí být tyto stezky osvětleny lépe než chodníky pro pěší. Na stezkách paralelních s cestami pro auta jsou cyklisté ještě oslňováni reflektory předjíždějících automobilů.

Tab. 3.5

Hodnoty intenzity osvětlení	E_{min}	$E_{min} : E_{max}$
1. cyklistické stezky v bezprostřední blízkosti osvětlených cest	3 lx	1 : 3,3
2. cyklistické stezky v blízkosti osvětlené cesty	3 lx	1 : 6,6
3. cyklistické stezky min. 8 m od cesty	1,5 lx	1 : 6,6

Na osvětlení je nutno použít svítidla s extrémně širokou křivkou svítivosti se zdroji malého výkonu.

3.3.10 Pěší zóny

Z hlediska ČSN 73 6110, projektování místních komunikací, jsou pěší zóny zatříděny do funkční třídy D1 a D3 - zklidněné komunikace. Pro ně jsou minimální požadované hodnoty osvětlení určeny V. a VI. stupněm osvětlení dle ČSN 36 0410. Dále je ale nutné při osvětlování pěších zón respektovat několik hledisek a dle nich stanovit požadavky na osvětlení. Na pěší zóně se objeví úplně jiný způsob vnímání urbanistického prostoru. Tam, kde předtím člověk musel vnímat hustou automobilovou dopravu, může nyní bez obav kráčet a vnímat architekturu a jiné detaily městského prostředí. Pěší zóna plní funkci rekreační, relaxační, informační, obchodní a nákupní.

V závislosti na urbanistickém, společenském a historickém významu zóny, bohatosti obchodní sítě nebo hustotě pěšího provozu se zóny rozdělují do tří skupin:

- P1 - prostor pěší zóny urbanisticky dominantní, společensky a historicky významný, s bohatou obchodní sítí, silným pěším provozem
- P2 - prostor pěší zóny méně významný nebo navazující na prostor P1
- P3 - okrajová část pěší zóny

Kromě zajištění potřebné horizontální intenzity osvětlení se klade důraz na vertikální osvětlenost, protože převaha zrakových informací je na vertikálních plochách. Osvětlení vertikálních ploch má význam pro viditelnost nejen chodců, ale také vchodů do domů, různých značek, nápisů apod. Jakost plastického podání tváří osob se hodnotí ve směru převažujícího pohybu chodců pomocí poloválcové intenzity osvětlení. Na ulicích obvykle v podélném směru komunikace, na náměstích a jiných prostranstvích obvykle ve dvou na sobě kolmých rovinách.

Tab. 3.6 Základní světelně technické požadavky na osvětlení pěších zón

Stupeň osvětlení	Horizontální osvětlenost průměrná $E_{pk} (lx)$	Horizontální osvětlenost minimální $E_{min} (lx)$	Střední poloválcová osvětlenost $E_{sc} (lx)$
P1	10	4	1
P2	5	2	1
P3	3	0,4	-

Požadavky na omezení přímého oslnění svítidly nejsou u pěších zón tak vysoké jako pro komunikace s motorovou dopravou. Protože se používají i svítidla umístěná pod úrovní očí, požaduje se omezení svítivosti i do horního poloprostoru. K zajištění zrakového komfortu chodců pro omezení oslnění jsou následující podmínky:

Tab. 3.7 Omezení svítivosti svítidel na pěších zónách

Úhel γ (°)	I (cd/1000 lm)	
	h < 1,5 m	h > 1,5 m
100	10	-
90	30	70
80	-	150

Celkové působení pěší zóny lze ovlivnit vhodným osvětlením vybraných objektů, pak je nutno toto osvětlení dát do souladu. Doporučené hodnoty jasu významných městských budov s individuálním osvětlením jsou uvedeny v následující tabulce:

Tab. 3.8 Doporučený jas objektů s vlastním osvětlením

Pozorovací vzdálenost	Jas průčelí L_{pk} (cd.m ⁻²)
dálkové pohledy	10 - 20
pohledy z okolí	5 - 10
pohledy z bezprostřední blízkosti	1 - 5

Na pěší zóně jsou rovněž reklamy, jejichž propustné hodnoty jasu jsou uvedeny v následující tabulce:

Tab. 3.9 Doporučený jas reklam na pěší zóně

Plocha světelně aktivní části reklamy (m ²)	Max. hodnoty jasu pro třídu (cd.m ⁻²)		
	P1	P2	P3
do 0,5	2500	2000	1000
0,5 - 2,0	2300	1600	800
2,0 - 5,0	2000	1200	600
5,0 - 10,0	1500	1000	600

Tvar a velikost svítidel je třeba citlivě zvážit, aby odpovídaly danému historickému stylu. Jestliže tato soustava nezajišťuje potřebnou úroveň osvětlení, je potřeba, aby bylo použito ještě jiného osvětlovacího systému (např. světlomety skrytě instalované na přilehlé budově). Návrh osvětlovací soustavy musí být v souladu s urbanistickou skladbou okolí. Při návrhu osvětlení, a to nejen pěších zón, je nutno respektovat zvláště památkové zóny a památková pásma.

3.4 Projekt veřejného osvětlení

3.4.1 Stavební zákon

Základním právním pokynem pro činnost ve výstavbě a tím i projektování je zákon č. 50/1976 Sb. o územním plánování a stavebním řádu (stavební zákon). Nabyl účinnosti dne 1. října 1976 a byl novelizován zákonem č. 103/1990 Sb., 425/1990 Sb., 262/1992 Sb., 43/1994 Sb., 19/1997 Sb., 83/1998 Sb. (úplné znění zákona č. 197/1998 Sb.), nález Ústavního soudu č. 95/2000 Sb., zákonem č. 132/2000 Sb., 151/2000Sb.

Co má obsahovat projektová dokumentace k územnímu a stavebnímu řízení nám říká výše specifikovaný stavební zákon, jehož novela z roku 1992 zrušila vyhl. 43/1990 Sb. o projektové přípravě staveb. Stavební zákon je předpisem především procesním a o obsahu projektové dokumentace vždy hovoří v rámci požadavků na proces územního a stavebního řízení.

Tak jako každá projektová dokumentace, tak i projekt veřejného osvětlení (dále jen VO) musí obsahovat všechny části - tj. průvodní zprávu, technickou zprávu jejíž součástí jsou světelné technické výpočty, ekonomickou část a výkresovou část.

Většina elektroprojektantů se domnívá, že projektovat VO je velmi jednoduchá záležitost, ale zapomínají, že projekt VO není jen projektem elektrozařízení, ale také projektem stavebních prací. Neopomenutelnou součástí jsou také podklady pro možnost vyřešení zemních prací.

V praxi se projektuje VO dvoustupňově - projekt územního řízení a projekt pro stavební povolení v rozsahu prováděcího projektu. U malých staveb cca do 5 mil. Kč stavebních nákladů se stalo „dobrým“ zvykem projektovat jednostupňově, to znamená od rozboru koncepce až po realizační dokumentaci stavby.

3.4.2 Obsah dokumentace pro územní řízení

Výsledkem územního řízení je rozhodnutí o umístění stavby. Návrh na umístění stavby se doloží dokumentací, která je úměrná místu a rozsahu prováděné stavby.

Průvodní část

- základní údaje stavby - název a adresu navrhovatele, to znamená zadavatele dokumentace, většinou jsou to Městské nebo Obecní úřady
- jméno (název), adresa (sídlo) a oprávnění zpracovatele dokumentace
- předmět územního řízení se stručnou charakteristikou území, na kterém se provádí nové VO
- stručná charakteristika nově navrhovaného VO
- stanoviska, souhlas posouzení popř. rozhodnutí dotčených orgánů státní správy předepsané zvláštními předpisy - např. stanovisko ekologie, ochrany vod a půdy, popřípadě památkové péče
- údaje o souladu návrhu s územně plánovací dokumentací, to znamená i stanovisko útvaru architekta města či obce
- druhy a parcelní čísla dotčených pozemků podle evidence nemovitostí

Technická část

- architektonické začlenění stavby do území, vzhled VO - typ stožárů, svítidel, rozváděčů, a jeho výtvarné řešení
- stručný popis předpokládaného stavebně-technického řešení
- údaje o provozu včetně technických parametrů
- nároky stavby na elektrickou energii, předpoklady na propojení se stávajícím VO
- dotčená ochranná pásma nebo chráněná území
- rozsah a uspořádání staveniště (např. uvolnění ploch, příjezdy na staveniště, případné přeložky inženýrských sítí, omezení existující dopravy aj.)
- popis zajištění ochrany životního prostředí, to znamená u VO zejména ochrana vzrostlé zeleně

Výkresová část

- situační výkres současného stavu
- situační výkres nového stavu
- další výkresy, či obrázky navrhovaného zařízení

Zhotovitel dokumentace obvykle po podepsání smlouvy obdrží mapové podklady dotčeného území stavby, zřídka i stávající stav VO, obvykle si ho musí doplnit od správce VO - to je příslušný obecní úřad. Následně vybere několik alternativ soustav VO a provede světelně technický výpočet .

Po konzultaci s útvarem hlavního architekta města, či pověřeného architekta obce, případně pracovníkem památkového ústavu, vybere vhodnou variantu řešení. Pak zpracovává dokumentaci dle výše uvedených požadavků. Na závěr postupuje dokumentaci k vyjádřením a stanoviskům.

Dokladová část

Úvodním listem dokladové části je číselný seznam jednotlivých dokladů.

- stanoviska, souhlasy nebo posouzení jednotlivých správců inženýrských sítí, které se nacházejí v dotčeném území stavby
- stanoviska, souhlasy, posouzení případně rozhodnutí dotčených orgánů státní správy, hlavně orgány chránící životní prostředí - ekologie aj.
- doklady o projednání dokumentace se správcem VO a zadavatelem dokumentace

3.4.3 Obsah dokumentace pro stavební řízení**Průvodní část**

- název a sídlo stavebníka - většinou jsou to Městské a Obecní úřady
- jméno (název), adresa (sídlo) a oprávnění zpracovatele dokumentace
- základní údaje a umístění stavby VO
- údaje o splnění podmínek rozhodnutí o umístění stavby
- údaje o splnění podmínek dotčených orgánů státní správy, které byly zajištěny před zahájením stavebního řízení

Technická část

- popis staveniště - poloha, případné zasažení do ochranných pásem, případně požadavky na kácení vzrostlých dřevin, likvidace zeleně, přeložky
- provozní údaje a zatřídění prostředí prostoru, popis druhu napájecího případně ovládacího rozvodu, proudové soustavy, napětí a kmitočet, energetická bilance, ochrany, způsob napojení na veřejnou síť a způsob ovládání VO

- výsledky výpočtů zkratových proudů
- údaje o osvětlení - to znamená světelně technické výpočty včetně popisu svítidel a zdrojů světla
- zásady celkového výtvarného řešení stavby, dodržení požadavků památkové péče a hlavního architekta města či obce
- zásady celkového stavebně-technického řešení soustavy VO
- použité materiály a technologie výstavby VO
- popis zemních prací
- bezpečnostní předpisy

Výkresová část

- celková situace stavby
- dispozice se zakreslenými trasami napájecích a ovládacích rozvodů - schéma rozvodu, výkres zemních prací -výkopových rýh
- schéma rozváděčů
- přehledové schéma propojení rozváděčů, případně soustavy VO
- výkresy základů stožárů a rozváděčů
- řezy křížení s ostatními inženýrskými sítěmi
- výkresy návrhu konstrukčního řešení, pokud nestačí textová část, obvykle při užití atypických technologií stavby stožárů či upevnění svítidel

Realizace stavby (dříve POV)

- podmínky na provádění stavby a opatření jimiž se chrání životní prostředí v průběhu výstavby
- požadavky na prozatímní provoz VO, to se týká hlavně rekonstruovaných dvoustranných soustav, kdy je jedna strana komunikace osvětlována novou soustavou a druhá se rekonstruuje
- podmínky pro uvedení stavby do provozu a pro užívání stavby

Doklady

Obdobně jako u předcházejícího stupně v podrobnějším znění.

Ekonomická část

Přehled nákladů stavby a souhrnný rozpočet. Je vhodné zpracovat rozpočet stavby položkově, závisí na zadavateli stavby, jak se dohodne projektantem na členění rozpočtu a obsahu položek.

Ve veřejném osvětlení se v poslední době upřednostňují kumulované položky, protože dodavatelé stavby rychleji sestaví nabídkovou cenu dle tohoto slepého rozpočtu. Většina firem již má zpracovány např. kompletní položky na postavení jednoho stožáru, u konkrétní stavby pouze doplní cenu požadovaného typu materiálu.

Je vhodné členit rozpočet na část demontáží, montáží a zemních prací. Velmi často jednotlivé práce provádějí rozdílně pracovní čety, které jsou schopny si takto zakalkulovat podíl svých prací. Jak již bylo uvedeno v úvodu, používá se dokumentace pro stavební povolení i pro konečné provedení stavby.

3.4.4 Praktické poznatky z projektování

Projektová dokumentace VO by měla být zpracována projektantem - světelným technikem, elektrikářem a projektantem inž. sítí v jednom. Na začátku návrhu osvětlovací soustavy je třeba určit, za jakým účelem soustavu navrhujeme. Můžeme navrhovat osvětlení komunikace určené pro motorovou dopravu, osvětlení pro chodce, osvětlení společenské a osvětlení orientační. Osvětlení pro chodce se buduje na komunikacích s omezenou, případně vyloučenou motorovou dopravou. Osvětlení společenské se navrhuje v místech pěších zón, převážně v historických a společensky významných centrech měst. Osvětlení orientační je určeno pro pěší komunikace s malou intenzitou provozu. Rozlišení prostorů je důležité hlavně při výběru svítidel a světelných zdrojů. V pěších zónách nebo centrech měst s malým motorickým ruchem navrhujeme stylová svítidla případně i se zdroji s nižší energetickou účinností a lepším podáním barev. Kromě zajištění potřebné horizontální osvětlenosti se při návrhu osvětlení pěší zóny klade důraz na vertikální intenzitu osvětlení, protože převaha zrakových informací je na vertikálních plochách. Jakost plastického podání tváří osob vyhodnocujeme ve směru převažujícího pohybu chodců poloválcovou intenzitou osvětlení.

Světelně technickým výpočtem zjistíme nejvhodnější osvětlovací soustavu, ale pokud nejsme schopni respektovat záludnosti terénu (vzrostlou zeleň, svah, terénní překážky, okna do nichž se nemá svítit) je tento výpočet samoúčelný. Co pomůže, že na dané komunikaci ve stávající zástavbě striktně dodržíme rozteče světelných míst, když strom zastíní důležitý vjezd do křižovatky nebo zvolíme tak vysoké stožáry, že osvětlují koruny stromů, ale již méně vozovku. také se stává, že např. při rekonstrukci umístíme svítidlo na jiné místo, než jsou lidé zvyklí, a zjistíme, že jsou na úřadě neustálé stížnosti, tu svítí do oken, pak zase není osvětlen přístupový chodník k domu, někdy dokonce jsou obyvatelé zlí, že nevidí na zvonky. Mnohdy jsou tyto stížnosti malicherné, jindy oprávněné. Je třeba si uvědomit, že na papíru jdou změny vždy provést, i když mnohdy „hoří“ termín. po dokončení stavby, všech terénních úprav, je již obtížné přesunout stožár nebo nějaký přidat. Návrh VO je nezbytně nutné projednat se správcem VO, ve městech, kde mají vypracován generel VO i s garantem tohoto dokumentu. Je třeba si uvědomit, že projekt neděláme jen proto, abychom si vydělali, ale hlavně navrhujeme VO pro lidi, kterým bude sloužit mnoho let.

Součástí technického řešení světelné soustavy musí být i návrh vhodné regulace osvětlení v nočních hodinách jejíž součástí je i stabilizace napětí.

Projekt VO, byť malého rozsahu, obsahující jeden výkres a maximálně pět stránek textu není dozajista tím, co má projektová dokumentace obsahovat a jistě budou potíže při územním a stavebním řízení a o samotné stavbě nemluvě.

3.5 Výklad evropské normy pro osvětlování

3.5.1 Klasifikace normy

Osvětlování silničních komunikací spadá v rámci Evropské komise pro normalizaci (CEN) do působnosti technických komisí CEN/TC 169 „Light and lighting“ (Světlo a osvětlení) CEN/TC 226 „Road equipment“ (Silniční zařízení). Normu pro osvětlování silničních komunikací „Road equipment“ zpracovává jejich společná pracovní skupina pod označením CEN/TC 169/226 JWG, a to především na základě dokumentů Mezinárodní komise pro

osvětlování (CIE). Termín dokončení normy byl několikrát odložen, norma by měla vstoupit v platnost v roce 2003.

Norma pro osvětlování silničních komunikací se původně měla skládat z následujících čtyř částí:

prEN 13201-1 Road lighting - Part 1: Selection of lighting classes (Třídění silničních komunikací)

prEN 13201-2 Road lighting - Part 2: Performance requirements (Požadavky na osvětlení)

prEN 13201-3 Road lighting - Part 3: Calculation of performance (Výpočet osvětlení)

prEN 13201-4 Road lighting - Part 4: Methods of measuring the light performance of installations (Měření osvětlení)

Později však bylo rozhodnuto, že první část bude vydána pouze jako technická zpráva a ne jako norma. Vlastní norma tedy měla mít pouze tři části a o označení technické zprávy se vůbec nemluvilo, měla být označena úplně nezávisle. Vlastní norma měla mít následující označení:

prEN 13201-1 Road lighting - Part 1: Performance requirements (Požadavky na osvětlení)

prEN 13201-2 Road lighting - Part 2: Calculation of performance (Výpočet osvětlení)

prEN 13201-3 Road lighting - Part 3: Methods of measuring the light performance of installations (Měření osvětlení)

Podle nejnovějších informací by označení jednotlivých částí evropského dokumentu pro veřejné osvětlení mělo být následující:

prCR 13201-1 Road lighting - Part 1: Selection of lighting classes (Třídění silničních komunikací)

prEN 13201-2 Road lighting - Part 2: Performance requirements (Požadavky na osvětlení)

prEN 13201-3 Road lighting - Part 3: Calculation of performance (Výpočet osvětlení)

prEN 13201-4 Road lighting - Part 4: Methods of measuring the light performance of installations (Měření osvětlení)

Pro číselné označení technické zprávy, řešící přiřazování jednotlivých stupňů osvětlení osvětlovaným prostorům, by tedy měl být použit stejný číselný kód jako pro označení vlastní normy. To považují za logické, protože jednotlivé státy mohou zmíněnou technickou zprávu vydat jako část své národní normy, a pak bude rozumné, když její všechny části budou vydány pod společným číselným kódem (13201). Vlivem uvedených postupných změn značení částí evropské normy pro veřejné osvětlení je situace pro nezasvěcené pozorovatele poněkud nepřehledná.

Technická zpráva nabízí propracovanou metodiku přiřazení požadavků na osvětlení venkovních veřejných dopravních prostorů, vlastní norma pak vedle stupnic světelnotechnických veličin i metodiku výpočtu a měření požadovaných parametrů osvětlení. Třídění venkovních dopravních prostorů, zavedené technickou zprávou a normou, vychází z odlišnosti požadavků na osvětlení. Jejich pomocí lze navrhnout pevné osvětlovací soustavy, které mají zaručit dobrou viditelnost všem účastníkům veřejné dopravy za snížené viditelnosti tak, aby byla zajištěna bezpečnost a plynulost dopravy a bezpečnost obecně. Norma platí i pro veřejně přístupné, soukromě provozované silniční komunikace a mosty. Normu nelze použít pro mýta, tunely, plavební kanály a plavební komory. Norma neobsahuje kritéria pro rozhodování, které prostory osvětlit.

3.5.2 Kategorizace a parametry osvětlení

Rozlišují se čtyři základní kategorie uživatelů venkovních veřejných dopravních prostorů. Jsou to:

1. řidič motorových vozidel (symbol M)
2. Řidič pomalých vozidel (symbol S) - řidič motorových vozidel, poháněných zvířaty a lidé jedoucí na zvířatech - rychlost do 40 km.h^{-1} (v některých zemích do 50 km.h^{-1})
3. Cyklisté (symbol C) - řidiči jízdních kol a mopedů - rychlost do 50 km.h^{-1}
4. Chodci (symbol P) - chodci nebo lidé na vozíčkách

Požadavky na osvětlení jsou závislé na geometrickém uspořádání osvětlovaného prostoru, na typu jeho uživatelů a způsobu využití, a také na vlastnostech prostředí:

- Geometrické uspořádání prostoru
 - existence konfliktních prostorů (křížení proudů motorizované dopravy nebo jejich překrývání v oblasti s četným výskytem jiných uživatelů)
 - existence prostředků pro zklidnění dopravy
 - oddělení dopravních proudů
 - druh křížení (úrovňové, mimoúrovňové)
 - četnost křížení (na 1 km délky)
 - dopravní využití sousedních prostorů
- Uživatelé dopravního prostoru
 - hlavní typ uživatele
 - další přípustní uživatelé
 - nepřípustní uživatelé
 - typická rychlost hlavního typu uživatele
- Využití prostoru
 - frekvence dopravy
 - obtížnost frekvence
 - přítomnost parkujících vozidel
 - potřeba rozeznání obličejů a barvy vozidel
 - riziko kriminality
- Vliv prostředí
 - převažující typ počasí (suchý nebo mokrá povrch)
 - úroveň jasu okolí
 - složitost zorného pole (souhrnný vliv osvětlení a dalších prvků v zorném poli uživatele komunikace, které odvádějí pozornost, ruší, matou nebo obtěžují uživatele, např. reklamní tabule, osvětlovací stožáry, osvětlené budovy nebo osvětlení sportovišť)

Na rozdíl od našich norem pro veřejná osvětlení evropská norma definuje parametr SR (surround ratio - poměr osvětlení okolí), který stanoví poměr průměrné intenzity osvětlení pruhů přilehlých k vozovce vztažený k průměrné intenzitě osvětlení vlastní vozovky. Evropská norma rovněž zavádí hodnocení rušivého neboli psychologického oslnění v podobě řady činitelů oslnění G (uplatňuje se pro řadu stupňů osvětlení CE, viz text dále) a řady činitelů oslnění D (pro řadu stupňů osvětlení S, A, ES a EV, viz text dále). Toto hodnocení se použije v případech, kdy nelze vyhodnotit relativní zvýšení prahu rozlišitelnosti k_r (omezující neboli fyziologické oslnění).

Rozlišují se následující třídy oslnění:

Tab. 3.10

Třída	Maximální svítivost I_g (cd.m ⁻²)			Další požadavky
	$\gamma = 70^\circ$	$\gamma = 80^\circ$	$\gamma = 80^\circ$	
G1		200	50	žádné
G2		150	30	žádné
G3		100	20	žádné
G4	500	100	10	nulové hodnoty nad 95°
G5	350	100	10	nulové hodnoty nad 95°
G6	350	100	0	nulové hodnoty nad 90°

Tab. 3.11

Třída	Činitel oslnění D^* (cd.m ⁻¹)
D0	-
D1	7000
D2	5500
D3	4000
D4	2000
D5	1000
D6	500

* Činitel oslnění $D = I_{85} \cdot A^{-0,5}$ (cd.m⁻¹), kde I_{85} je maximální hodnota svítivosti (cd) v úhlu 85° od vertikály a A je plocha (m²) průmětu světelně činné části svítidla do roviny kolmé k výše uvedenému směru.

Další parametry osvětlení známe z našich norem pro veřejné osvětlení, v některých případech jsou však použity odlišné symboly.

Celková rovnoměrnost osvětlení je v Evropské normě značena symbolem U_0 , podélná rovnoměrnost symbolem U_l , relativní zvýšení prahu rozlišitelnosti k_r symbolem TI , místně minimální intenzita osvětlení symbolem E_{min} , polokulová intenzita osvětlení symbolem E_{hs} , poloválcová intenzita osvětlení symbolem E_{sc} .

Evropská norma dále zavádí podle charakteru zrakového úkolu sedm řad stupňů (tříd) osvětlení.

ME - platí pro motorizovanou dopravu se střední a vysokou rychlostí, pro převážně suchý povrch vozovky (základní kritérium - jas povrchu vozovky).

Tab. 3.12

Třída	Jas povrchu vozovky převážně suchého			Omezující oslnění	Osvětlení okolí
	L_{pk} min. (cd.m ⁻²)	U_0 min.	U_l min.	TI max. ¹⁾ (%)	SR min. ²⁾
ME1	2,0	0,4	0,7	10	0,5
ME2	1,5	0,4	0,7	10	0,5

ME3a	1,0	0,4	0,7	15	0,5
ME3b	1,0	0,4	0,6	15	0,5
ME3c	1,0	0,4	0,5	15	0,5
ME4a	0,75	0,4	0,6	15	0,5
ME4b	0,75	0,4	0,5	15	0,5
ME5	0,5	0,35	0,4	15	0,5
ME6	0,3	0,35	0,4	15	-

- ¹⁾ Zvýšení TI o 5 procentních bodů lze povolit v případech použití světelných zdrojů s nízkým jasnem.
- ²⁾ Toto kritérium lze uplatnit jedině tam, kde nejsou žádné dopravní oblasti přiléhající k vozovce, s vlastními individuálními požadavky.

MEW - platí pro motorizovanou dopravu se střední a vysokou rychlostí, pro převážně mokry povrch vozovky (základní kritérium - jas povrchu vozovky).

Tab. 3.13

Třída	Jas povrchu vozovky převážně mokrého				Omezující oslnění	Osvětlení okolí
	Suchý povrch			Mokrý povrch		
	L_{pk} min. (cd.m ⁻²)	U_0 min.	U_1 min. ¹⁾	U_0 min.	TI max. ²⁾ (%)	SR min. ³⁾
ME1W	2,0	0,4	0,6	0,15	10	0,5
ME2W	1,5	0,4	0,6	0,15	10	0,5
ME3W	1,0	0,4	0,6	0,15	15	0,5
ME4W	0,75	0,4		0,15	15	0,5
ME5W	0,5	0,35		0,15	15	0,5

- ¹⁾ Použití tohoto kritéria je dobrovolné, ale může se použít v případě dálnic.
- ²⁾ Zvýšení TI o 5 procentních bodů lze povolit v případech použití světelných zdrojů s nízkým jasnem.
- ³⁾ Toto kritérium lze uplatnit jedině tam, kde nejsou žádné dopravní oblasti přiléhající k vozovce, s vlastními individuálními požadavky.

CE - platí pro motorizovanou dopravu a ostatní uživatele silniční komunikace v konfliktních oblastech např. na obchodních třídách, na komplikovaných křižovatkách, kruhových objezdech, v oblastech s častými dopravními zácpami apod., a může být dále aplikována v některých oblastech pěší a cyklistické dopravy, např. v podchodech a na schodištích (základní kritérium - horizontální intenzita osvětlení).

Tab. 3.14

Třída	E_{pk} min. (lx)	U_0 min.
CE0	50	0,4
CE1	30	0,4
CE2	20	0,4
CE3	15	0,4
CE4	10	0,4
CE5	7,5	0,4

S - platí pro pěší a cyklistickou dopravu na chodnících, cyklistických stezkách, v odstavených jízdních pruzích a v jiných dopravních oblastech ležících odděleně nebo podél vozovky silniční komunikace, pro silniční komunikace v obytných čtvrtích, pro pěší zóny, parkoviště, školní hřiště atd. (základní kritérium - horizontální intenzita osvětlení).

Tab. 3.15

Třída	E_{pk} min. (lx)	E_{min} min. (lx)
S1	15	5
S2	10	3
S3	7,5	1,5
S4	5	1
S5	3	0,6
S6	2	0,6
S7	nestanoveno	nestanoveno

A - alternativní řada pro pěší a cyklistickou dopravu na chodnících, cyklistických stezkách, v odstavných pruzích a jiných dopravních oblastech ležících odděleně nebo podél vozovky silniční komunikace, pro silniční komunikace v obytných čtvrtích, pro pěší zóny, parkoviště, školní hřiště atd. (základní kritérium - polokulová intenzita osvětlení).

Tab. 3.16

Třída	E_{pk} min. (lx)	U_0 min.
A1	5	0,15
A2	3	0,15
A3	2	0,15
A4	1,5	0,15
A5	1	0,15
A6	nestanoveno	nestanoveno

ES - doplňková řada pro pěší zóny ke snížení kriminality a zvýšení pocitu bezpečí (základní kritérium - poloválcová intenzita osvětlení 1,5 m nad povrchem komunikace).

Tab. 3.17

Třída	$E_{sc, min}$ (lx)
ES1	10
ES2	7,5
ES3	5
ES4	3
ES5	2
ES6	1,5
ES7	1
ES8	0,75
ES9	0,5

EV - doplňková řada pro situace, kde je nutná dobrá viditelnost vertikálních ploch, např. v oblastech křížení dopravy (základní kritérium - vertikální intenzita osvětlení 1,5 m nad povrchem komunikace)

Tab. 3.18

Třída	$E_{v, \min}$ (lx)
EV1	50
EV2	30
EV3	10
EV4	7,5
EV5	5
EV6	0,5

V Následující jsou porovnány základní třídy osvětlení podle úrovně osvětlení. V případě kategorie ME a MEW se předpokládá povrch obrusné vrstvy vozovky s odraznými vlastnostmi odpovídajícími třídě CII.

Tab. 3.19

	ME1	ME2	ME3	ME4	ME5	ME6		
	MEW1	MEW2	MEW3	MEW4	MEW5			
CE0	CE1	CE2	CE3	CE4	CE5			
			S1	S2	S3	S4	S5	S6

Řada A je alternativní k řadě S a k jejímu použití slouží srovnatelné úrovně osvětlení podle tab. 3.20.

Tab. 3.20 Porovnání kategorií ME, MEW, CE, S podle úrovně osvětlení

Referenční třída	S1	S2	S3	S4	S5	S6
Alternativní třída		A1	A2	A3	A4	A5

Řady ES a EV jsou doplňkové ke kategoriím CE a S. Používají se podle Tab. 3.21.

Tab. 3.21

Referenční třída	CEO	CE1	CE2	CE3	CE4	CE5			
				S1	S2	S3	S4	S5	S6
Doplňková třída	ES1	ES2	ES3	ES4	ES5	ES6	ES7	ES8	ES9
		EV3	EV4	EV5					

3.5.3 Přiřazení parametrů osvětlení

Nyní si na jednoduchém příkladu ukážeme postup odvození požadavků na osvětlení. Podle následující tabulky (podle charakteristiky uživatelů uvažovaného prostoru a typické rychlosti hlavního uživatele) vybereme příslušný soubor údajů - charakteristickou situaci.

Tab. 3.22

Typická rychlost hlavního uživatele	Uživatelé v téže uvažované oblasti			Modelová situace
	Hlavní uživatel	Jiný uživatel (povolený)	Nepovolený uživatel	
vysoká > 60 km.h ⁻¹	M	-	S C P	A1
		S	C P	A2
		C P	-	A3
střední 30 až 60 km.h ⁻¹	M S	C P	-	B1
	M S C	P	-	B2
	C	P	M S	C1
nízká 5 až 30 km.h ⁻¹	M P	-	S C	D1
		S C	-	D2
	M C	S P	-	D3
	M S C P	-	-	D4
	P	-	M S C	E1
		M S C	-	E2

Dejme tomu, že hlavním uživatelem má být řidič motorového vozidla (M), že nepovolenými uživateli jsou řidiči pomalých vozidel (S), cyklisté (C) a chodci (P) a že typická rychlost hlavního uživatele je 60 km.h⁻¹. Příslušná charakteristická situace pak má označení A1.

Pro soubor situací A1 jsou v normě k dispozici další dvě tabulky (3.23 a 3.24), obdobně jako ke všem ostatním souborům

Pozn.: Označení modelových situací A1 až A3 nemá nic společného se značením tříd A1 až A6 alternativní řady A. Použití téhož symbolu je dost nešťastné.

Tab. 3.23 Požadovaný rozsah tříd osvětlení řady ME pro soubor situací A1

Převládající typ počasí	Oddělené jízdní pruhy	Typ křížení komunikací		Intenzita provozu (prům. počet vozidel za 24 h v obou směrech)						
		Mimoúrovňové	Úrovňové	< 15 000	15 000 až 25 000			> 25 000		
		Vzdálenost křižovatek	Hustota křižovatek	← 0 →	← 0 →			← 0 →		
suché	ano	> 3 / km		5 4a 3a	4a 3a 2			4a 3a 2		
		≤ 3 / km		4a 3a 2	4a 3a 2			3a 2 1		
			> 3 / km	5 4a 3a	5 4a 3a			4a 3a 2		
			< 3 / km	4a 4a 3a	4a 3a 2			3a 2 1		
	ne	> 3 / km		5 4a 3a	3a 2 1			3a 2 1		
		≤ 3 / km		3a 2 1	3a 2 1			2 2 1		
			> 3 / km	4a 4a 3a	4a 3a 2			3a 2 1		
			< 3 / km	4a 3a 2	3a 2 1			2 2 1		
mokrě				volba obdobná, ale pro kategorie MEW						

Tab. 3.24 Doporučení pro výběr třídy z rozsahu tříd podle tabulky 3.23

Konfliktní oblast	složitost zorného pole	Obtížnost orientace	Úroveň jasu okolí		
			nízká	střední	vysoká
ne	běžná	běžná	←	←	0
		vyšší než běžná	0	0	→
	vysoká	běžná	←	0	0
		vyšší než běžná	0	→	→
ano			1)		

- 1) V případě konfliktních oblastí je doporučeným návrhovým kritériem jas. V případech, kdy je délka rozhledu malá nebo je použití kritéria jasu znemožněno z dalších důvodů, lze pro návrh využít i intenzitu osvětlení. Srovnatelné třídy CE příslušné k doporučeným třídám ME jsou uvedeny v příslušné tabulce (viz výše).

Další předpoklady: převládající počasí - suché, oddělené jízdní pruhy - ano, křížení - mimoúrovňové, vzdálenost křižovatek - větší než 3 km, intenzita provozu - více než 25 000 vozidel za den. V tab. 3.23 jsme dospěli k okénku obsahující tři třídy osvětlení: ME4a, ME3a, ME2. Pomocí tab. 3.24 vybereme jednu ze tří tříd odvozených v předcházejícím kroku. Platí-li: konfliktní oblast - ne, složitost zorného pole - běžná, obtížnost orientace - běžná, úroveň jasu okolí - nízká, dostaneme se k okénku s šipkou směřující vlevo. Znamená to, že odpovídající třída osvětlení je ME4a (levá poloha z trojice tříd podle tab. 3.23). V případě, že bychom se dostali v tab. 3.24 k okénku s nulou, vybrali bychom v tab. 3.23 třídu uprostřed rozsahu (ME3a), v případě šipky směřující vpravo bychom volili třídu ležící vpravo (ME2).

V našem případě jsme tedy došli k třídě ME4a, světelně technické požadavky.

Tab. 3.25 Světelnětechnické požadavky třídy ME4a

Třída	L_{pk} min. ($cd.m^{-2}$)	U_0 min.	U_1 min.	TI max. (%)	SR min.
ME4a	0,75	0,4	0,6	15	0,5

4. PROVOZ A ÚDRŽBA VEŘEJNÉHO OSVĚTLENÍ

4.1 Provoz osvětlení

Pojmem provoz osvětlení v nejobecnějším významu rozumíme činnost souboru osvětlovacích zařízení za účelem vytváření určitého světelného prostředí v daném prostoru a čase. V průběhu provozu osvětlení dochází na osvětlovacím zařízení i v osvětlovaném prostoru k provozním změnám. Jsou způsobeny jednak vratnými i nevratnými změnami v osvětlovacích zařízeních samotných, jednak vlivy vnějšího prostředí na osvětlovací zařízení. Jestliže tyto změny omezí vlastnosti osvětlení a sníží jeho technické parametry pod požadovanou či předepsanou mez, je třeba provést údržbu osvětlení.

Náklady na elektrickou energii jsou rozhodující položkou (50 až 90%) z provozních i celkových nákladů na osvětlení během života osvětlovacích zařízení. Tato položka nákladů je nižší u moderních progresivních zdrojů s vysokým měrným výkonem. Jestliže lze řízením osvětlení ovlivnit hlavní položku nákladů, mělo by být vždy v ekonomicky odůvodněných mezích toto řízení zavedeno.

Jsou-li požadavky na osvětlení spojeny s důležitými požadavky na hygienu osvětlování nebo bezpečnost provozu, musí být podmínky tohoto provozu začleněny do místních provozních a bezpečnostních předpisů.

4.2 Pasport a generel veřejného osvětlení

Pasport a generel patří mezi dva základní dokumenty pro oblast VO. Do samosprávních působností obcí náleží i správa a údržba VO. Dle zákona č. 172/91 Sb. České národní rady ze dne 24. dubna 1991 o přechodu některých věcí z majetku České republiky do vlastnictví obcí (změna: 485/91 Sb., 10/93 Sb.), patří VO do vlastnictví obce a vztahují se na něj všechna zákonná opatření zákona č. 128/2000 Sb. o obcích (obecní zřízení) zrušil původní zákon č. 367/1990 Sb. ve znění pozdějších změn a doplňků a nabyl účinnost dnem voleb do zastupitelstev krajů, 12. listopadem 2000.

Dále zákona o účetnictví č. 563/91 Sb. ve znění zákona č. 117/94 Sb. a zákona č. 227/97 Sb. včetně Opatření FMF čj. V/20 530/92 ze dne 30. července 1992, kterým se stanoví účtová osnova a postupy účtování pro rozpočtové a příspěvkové organizace a obce. Dále jsou opatření, kterými se upravily postupy účtování pro obce – čj. 283/16 421/93, čj. 283/69 817/93, čj. 283/16 890/94, čj. 283/73 246/94, čj. 283/47 773/95, čj. 283/71 706/95, čj. 283/3 770/96, čj. 283/51 437/96, čj. 283/71 761/96, čj. 283/74 734/97, čj. 283/50 989/98, čj. 283/81 620/98, čj. 283/81 620/98, čj. 283/93 486/98 čj. 283/78 179/99. Nesmíme také opomenout Zákon o pravidlech hospodaření s rozpočtovými prostředky 576/90 Sb. (změna: 579/91 Sb., 166/92 Sb., 321/92 Sb., 10/93 Sb., 189/93 Sb., 57/95 sb., 154/95 Sb., 160/97 Sb.

Jak je vidět, není jednoduché vést v účetnictví nehmotný majetek – veřejné osvětlení, plánovat jeho údržbu, opravy, rekonstrukce a výstavbu. K evidenci, možnosti zařazení, vyřazení z majetku a odpisům je nezbytně nutná řádná evidence veřejného osvětlení, jejímž základem je pasportizace veřejného osvětlení. Pasportizace veřejného osvětlení je jednak podkladem k účetní evidenci, dále nezbytně nutné technické vybavenosti zařízení a jeho územní rozmístění.

Základem mapové evidence je soubor map určité obce, či města v digitální formě. Do těchto map se zakreslí trasy kabelů veřejného osvětlení, světlá místa, zapínací a napájecí body včetně nezbytného technického popisu. Pro údržbu VO jsou zakresleny i počty a typy kabelů. V návaznosti na mapovou evidenci jsou vytvořeny počítačové programy pro možnost nejen tabulkového zpracování dat evidenčních, ale i možnost kontroly a plánování údržby, revizí, sledování spotřeby elektrické energie.

Je jen na výběru správce, zda ve výsledku bude mít evidenci dle zapínacích míst, dle ulic, zatřídění komunikací, městských obvodů, či celkový přehled, je to otázka výběru filtrovaných položek. Základními vstupními daty jsou:

- údaje k světelnému bodu (typ stožáru, výložníku, svítidla, zdroje, počet, místo napojení)
- údaje k vedení VO (typ, délka)
- údaje k zapínacímu místu

Doplňujícími údaji jsou:

- datum pořízení
- datum výměny či opravy
- datum revize
- typ vyměněného prvku

Nezbytnou součástí evidence je i soubor informací o řízení VO, způsobu spínání.

Z těchto základních údajů lze sestavit libovolnou tabulku a informaci, např.:

- celkový počet světelných míst a svítidel na komunikaci (případně příslušejících k zapínacímu bodu)
- celkový instalovaný přípoj na komunikaci (zapínacímu bodu)
- instalovaný přípoj na 1 km osvětlované komunikace
- rozteč světelných míst, průměrná rozteč světelných míst
- souhrn zařízení VO na komunikacích, v obvodech, v celé obci či městě
- veškeré sumární tabulky
- sestavení plánu revizí
- plánu výměny zdrojů
- plánu oprav
- přehledu instalovaného příkonu

Nezbytnou součástí evidence je soubor informací o řízení VO, způsobu spínání.

Generel veřejného osvětlení města, obce vychází vždy z údajů pasportu veřejného osvětlení, pasportu místních komunikací a silničních průtahů, územního plánu, materiálů památkové péče, generelu rozvoje dopravy, požadavků Dopravního inspektorátu z hlediska z hlediska bezpečnosti provozu.

Hlavní součástí generelu VO je světelně technická část. Generel VO zatřídí stávající i nově plánované komunikace do příslušného stupně osvětlení a tím určuje požadavky na osvětlení dané komunikace dle normovaných hodnot. Zatřídí také pěší zóny do jednotlivých skupin a vymezí požadavky na jejich osvětlení. Stanoví požadavky na osvětlení cyklistických stezek dle jejich polohy, osvětlení prostranství a parkovišť. Tato světelně technická část je podkladem pro správce VO při zadávání požadavků na jednotlivé projekty VO ve městě.

Generel VO určuje hlavní charakteristiky nově plánovaných nebo obnovovaných soustav VO, je stěžejním podkladem při zadávání konkrétních úkolů projekčním a stavebním organizacím. Je teoretickým podkladem. V návaznosti na něj je vhodné ve městě zmapovat stav VO a vytvořit dlouhodobý plán rekonstrukcí VO.

Generel VO je hlavním souborem pravidel, požadavků, zákonů a norem, jimiž se řídí provozování, plánování i výstavba veřejného osvětlení.

4.3 Údržba veřejného osvětlení a její členění

Veřejné osvětlení jako každé složitější technické zařízení musí být udržováno. Tím spíše, že se jedná o vyhrazené technické zařízení.

Od roku 1995 platí technická norma ČSN 33 2000-1, kde je článek 13N6.2

„Elektrická zařízení musí být pravidelně kontrolována a udržována v takovém stavu, aby byla zajištěna jejich správná činnost a byly dodrženy požadavky elektrické a mechanické bezpečnosti a požadavky ostatních předpisů a norem“.

4.3.1 Členění údržby

Údržbu zařízení VO a s tím spojené práce lze členit:

- Běžná údržba (dále jen BÚ)
- Preventivní údržba (dále jen PÚ)
- Odstraňování následků škod a vandalizmu
- Zajištění centrálního dispečinku a pohotovostní poruchové služby
- Zajištění pravidelných elektrorevizí

4.3.2 Běžná údržba

Zahrnuje všechny nezbytné úkony k zajištění plynulého provozu zařízení VO, prováděné podle platných předpisů.

S výkonem běžné údržby je spojena kontrolní činnost dodavatele údržby, který při pohybu v terénu zjišťuje, zaznamenává a předává správci veškeré informace o poškozených, zvláštních stavech na zařízení, nepovoleném využívání stožárů apod. Do kontrolní činnosti patří také pravidelné noční kontroly spravovaného území za účelem ověření funkčnosti celé soustavy a zjištění problematických míst, dílčích a ojedinělých výpadků.

V rámci běžné údržby musí dodavatel zajistit zejména:

- udržení soustavy VO v pravidelném provozu se zajištěním svítivosti na instalovaných světelných místech na 95 % (minimálně)
- odstraňování poruch rozvodu, operativní provizorní opravy k co nejrychlejšímu opětovnému zprovoznění soustavy VO
- výměny vyhořelých zdrojů zjištěných při noční kontrolní činnosti, nahlášených správcem nebo občany města, výměny nebo opravy předradníků, jističů svítidel, krytů. Vzhledem k ceně energie se stále silněji ozývají oprávněné požadavky na provádění oprav - výměn světelných zdrojů, v nočních hodinách při normálním provozu VO. Noční práce však nelze provádět např. na venkovním vedení, v blízkosti troleje hromadné dopravy.

- seřizování časových spínačů v souladu s ročním provozním kalendářem viz. tab. 4.1, ošetřování fotometrických spínacích prvků apod.
- identifikace kabelových poruch, operativní opatření a předkládání návrhů na definitivní odstranění kabelových poruch

Tab. 4.1 Obecně platná doba zapínání a vypínání VO

Období	Zapnutí	Vypnutí
zimní 23.9 až 20.3	1/2 hod. po západu slunce	1/2 hod. před východem
letní 21.3 až 22.9	3/4 hod. po západu slunce	3/4 hod. před východem slunce

Správa VO zabezpečuje provoz VO dle zpracovaného kalendáře spínacích hodin na celém území města stejně.

4.3.3 Preventivní údržba

Je rozhodující činností, která přímo ovlivňuje délku života zařízení. Podceňování PÚ vede k hromadění problému se zajištěním provozu VO (zejména v zimních měsících), prodražuje se běžná údržba, zhoršuje se účinnost osvětlovací soustavy a tím hospodárnost provozu. Šetření finančních prostředků na úkor PÚ má ve svých důsledcích za následek značné ekonomické ztráty v podobě zvýšených nákladů BÚ, mnohdy to vedlo i k předčasné rekonstrukci.

Obsahem PÚ jsou práce, které se dnes zdají být ještě zbytečné, ale v budoucnu se již jejich opomenutí a neprovedení nedá běžnou údržbou ekonomicky nahradit.

Prvky, jejichž technický stav provádění PÚ pozitivně ovlivňuje

Osvětlovací stožáry, výložníky

Jejich životnost je dána stavem materiálu v místě vetknutí. Nově stavěné stožáry musí být vybaveny zesílenou ochranou manžetou a opatřeny vnější metalizací (nebo důkladným nátěrem) a vnitřním ochranným nátěrem. Nátěry jsou v celém městě jednotné barevnosti - základní nátěr nebo metalizace je zakryt vrchním nátěrem barvy stříbrné a šedé, ve zvláštních případech jiné barvy, např. černé (po konzultaci se správcem VO). Patice stožáru nebo stožár do výšky 1,4 m jsou natřeny barvou šedou, zbytek stožáru a výložník barvou stříbrnou. Podpis stožárů a výložníků se provádí barvou černou. U bezpaticových stožárů spočívá preventivní údržba v kontrole betonové patky, která musí být spádovaná, bez trhlin, spojena se stožárovým pouzdrem po celou dobu života stožáru.

Paticový stožár musí mít rovnou betonovou patku, která svým průměrem přesahuje dolní rozměr patice alespoň o 5 cm. Kontrola celistvosti a nepropustnosti vody ke stožáru se provádí zejména při komplexní údržbě patice.

Preventivní údržba výložníku spočívá vedle nátěru pouze v kontrole a konzervaci zajišťovacích šroubů.

Stožárová patice, rozvodnice bezpaticového stožáru

Patice tvoří ochranu živých částí krytím proti nebezpečnému dotyku dle ČSN 34 1010, proti vnikání vlhkosti do prostoru el. výzbroje i jako částečná mechanická ochrana stožáru proti nárazu.

Je nutné pravidelně čistit a konzervovat zámky dvířek, kontrolovat a zatěšňovat vhodným tmelem prostor mezi stožárem a paticí, čistit prostor pod paticí, dotahovat svorkovnice kabelů, uzemnění, konzervovat spoje.

Svítlidla

Zejména nová svítidla s vysokým stupněm krytí nevyžadují zvláštní náročnou preventivní údržbu, kromě očištění krytu svítidla a dalších světelně aktivních ploch v rámci výměny světelného zdroje.

Prevence u svítidel spočívá ve vizuální kontrolní činnosti stavu krytů, předradníků, aby přístrojová náplň nebyla vystavena přímému působení povětrnostních vlivů, kontrole čistoty a neporušenosti krytu sv. zdroje, aby nedocházelo ke korozi odrazné plochy. Svítidla, jsou-li umístěna na výložnicích na stožárech nesoucích trakční vedení, musí být odolná proti účinkům dynamických rázů (zkoušku zajišťuje výrobce). U raménkových svítidel na síti venkovního vedení nn a VO, umístěných na betonových stožárech, je nutné dbát na utěsnění trubky nosníku svítidla s procházejícím přívodním vodičem tak, aby se zamezilo hnízdění drobného ptactva.

Světelné zdroje

V rámci PÚ se provádí plošná skupinová výměna všech světelných zdrojů po stanovené době provozu. Vzhledem k nutnosti zavedení čtyřletého cyklu a stále se zvyšující kvalitě dodávaných světelných zdrojů a předradníků svítidel, je dnes již možno přistoupit k plošným výměnám po 4 letech provozu. Životnost světelných zdrojů také ovlivňují napěťové poměry v síti.

Elektrický rozvod VO

Preventivní údržba elektrického kabelového rozvodu spočívá v údržbě ukončení kabelů, čištění připojovacích konců, dotahování spojů, konzervace. Dále v kontrole a doplňování štítků na koncovkách kabelů v rozváděcích.

Důležitou prevencí ochrany kabelů VO je důsledný výkon správy na zařízení při vyjadřování k různým havarijním opravám, stavebním pracím, přípojkám staveb. Stanovení jasných podmínek pro práci v blízkosti kabelového rozvodu VO chrání toto zařízení.

U venkovního vedení VO pod sítí NN je nutné kontrolovat a sledovat napnutí vodičů VO i vodičů NN, aby při větrném počasí nedocházelo ke zkratování a pravidelným výpadkům VO. Případné napínání vodičů je nutné předem projednat se SME, a.s., aby byla zajištěna koordinace prací a byla provedena všechna opatření proti úrazu elektrickým proudem na daném úseku. Při pracích na zařízeních, kdy je třeba zapnout síť VO včetně venkovního rozvodu VO společně uloženého se sítí volného vedení NN, mimo dobu běžného provozu, musí údržba VO projednat zapnutí se služebnou SME RZ.

Rozváděče

Vyžadují vyčištění prostoru rozváděče, ošetření kontaktů, svorek, vnitřního osvětlení, provedení výměn viditelně poškozených přístrojů, kontrolu a zajištění zaplombovaných částí

před elektroměrem, kontrolu platnosti a doplnění schématu rozváděče a schématu šíření impulsu v dané oblasti.

Podle agresivity okolního prostředí je třeba upravit interval provádění PÚ některých rozváděčů (zkrátit na polovinu).

Důležitou částí preventivní údržby je kontrola a doplňování zabezpečení rozváděčů proti násilnému vniknutí cizích osob.

Při projektování nových zařízení VO je nutno dbát na to, aby rozváděč byl chráněn polohou proti agresivní vodě (stříkající od projíždějící aut z vozovky).

Odůvodnění významu zavedení dlouhodobé preventivní údržby

Novelizací normy o revizích el. zařízení ČSN 33 1500 bylo v roce 1991 umožněno organizacím s vlastním řádem preventivní údržby (dále jen PÚ) prodloužit lhůty stanovené pro provádění revizí až na dvojnásobek (mimo prostory s nebezpečím požáru nebo výbuchu). Přesně stanovené intervaly údržby jsou technickými normami určeny pouze pro el. zařízení v prostorách prašných a u speciálních zařízení. Platí, že volba nemá vycházet z počtu pracovníků nebo ekonomických možností majitele, ale z podmínek a potřeb provozu, stanoveného prostředí apod. Aniž je to v právní či technické normě uvedeno, je logické, že interval údržby nesmí být delší než stanovená perioda revize el. zařízení.

Kvalitní plán preventivní údržby a jeho důsledné naplňování garantuje, kromě prodloužení životnosti zařízení VO, postupné snižování nákladů běžné údržby tím, že se výrazně sníží neplánované výjezdy na jednotlivé poruchy, sníží se noční zásahy vyvolané poruchami ve stožárových rozvodnicích, impulsních propojeních apod. Je třeba si uvědomit, že nejdražší údržba je náhodnou poruchou vynucený jednotlivý výjezd na různě od sebe vzdálená jednotlivá světelná místa. Preventivní údržba spojená s plošnou výměnou kvalitních zdrojů při důsledné kontrole kvality předřadníků ve svém důsledku znamená, že do takové oblasti se nemusí opakovaně najíždět. Zvýšení efektivnosti prací, provozní spolehlivosti zařízení VO a s tím spojené ekonomické přínosy vyplývá z následujících důvodů:

- snížené časové a nákladové ztráty zbytečným přejížděním
- možnost dlouhodobějšího plánování práce a potřebného materiálu
- konkrétní přebírání dokončené práce od pracovníků, jednodušší kontrola kvality
- možnost dohodnutí záručních dob na provedené práce (nátěry, zdroje aj.) jako pojistky proti nekvalitnímu odvedení prací u subdodávek
- každé světelné místo a rozváděče jsou v pravidelném termínu komplexně ošetřeny
- zákonité snížení počtu nahodilých poruch
- možnost úspory nákladů za periodické elektrovevize (dle ČSN každé 4 roky) oprávněného vynechání jednoho cyklu (prodloužení na 8 let) při zpracovaném plánu preventivní údržby
- v pravidelném cyklu je navštíven každý prvek zařízení VO a tím je zvýšená kontrola a prevence před neoprávněným využíváním zařízení VO.

Zpracování plánu PÚ

Z rozhodnutí majitele VO může být zpracováním plánu pověřen správce a provozovatel VO (OK, a.s.). Zpracovávat plán PÚ má však smysl pouze tehdy, je-li vlastník VO přesvědčen o smyslu tohoto kroku a je připraven finančně zajistit jeho každoroční financování v plné výši. Jakékoliv omezení rozpočtu PÚ v některém z následujících období zcela systém rozbije. Je pravdou, že nastartování úvodního čtyřletého cyklu vyžaduje vyšší finanční prostředky, než

bylo v letech předchozích zvykem vynakládat, protože vedle preventivně ošetřovaného zařízení je ještě nutné nákladně udržívat provozované zařízení, které ještě cyklem PÚ neprošlo. V prvním roce nastartování PÚ se jedná o celé 3/4 zařízení VO, které bude stále vyžadovat nahodilou neplánovanou běžnou údržbu. Každým dalším rokem provádění PÚ ubývá 1/4 zařízení tohoto charakteru, takže po ukončení prvního čtyřletého cyklu se zásadně změní poměr mezi náklady PÚ a BÚ. Příprava plánu PÚ vyžaduje zejména:

- vypracování přehledné mapy města s rozlišeným vyznačením území se zařízením VO podle jednotlivých nejbližších roků obnovení elektrorevize. Pro roky 2001 až 2004
- vytvoření čtyř územně kompaktních území s přibližně srovnatelným počtem SM podle největšího počtu nutných obnovení revizí v jednom vybraném roce a území i za cenu, že se některé revize budou muset provést tzv. v předtermínu
- podle stáří zařízení VO nebo podle poslední předcházejí větší údržby, rekonstrukcí apod. zvolit nejzanedbanější území pro první rok zavedení plošné preventivní údržby
- od tohoto území pokračovat v návrhu dalších let postupně v navazujícím území (např. po směru hodinových ručiček), aby se za čtyři roky celá oblast města uzavřela
- v prvním čtyřletém cyklu se v souběhu s preventivní údržbou budou provádět i periodické elektrorevize, aby byl co nejpodrobněji podchycen celkový stav zařízení a byl uveden do náležitého pořádku.

Vymezení rozsahu prací PÚ

Jedná se o komplexní ošetření zařízení VO a výměnu těch prvků, které podle roků instalace již výměnu vyžadují. Proto je nutné jednou plánovitost údržby nastartovat, aby se zamezilo operativním nekoordinovaným výměnám prvků s mnohaletou životností v rámci různých nahodilých poruch.

Proto je nutné pracovat v daném roce v přesně vymezeném území a postupně uvést zařízení do stejného cyklu určitých přesně specifikovaných a požadovaných výkonů a výměn prvků.

Do plánu preventivní údržby je možné vhodně zakomponovat plošné výměny světelných zdrojů v cyklu výměn do 4leté periody.

Pro stanovení termínů výměn jednotlivých prvků lze vycházet z doby pořízení za použití odpisových tabulek zákona o dani z příjmu č. 586/1992 Sb. ve znění pozdějších změn a doplnění, kde jsou svítidla v odpisové skupině č. 2 (položka 2-47, SKP 31.50), elektrické rozváděče ve skupině č. 3 (pol. 3-36, SKP 31.2), kabelové rozvody a stožáry ve skupině č. 4 (el. vedení - pol. 4-3, SKP 46.21.4, stožáry - pol. 4-5, SKP 46.21.52). Podle § 30, odst. (1) doba odpisování činí:

Tab. 4.2

Odpisová skupina	Doba odpisování
2	8 let
3	15 let
4	30 let

Tab. 4.3 Přehled jednotlivých lhůt provádění PÚ podle prvků souboru VO

PÚ	Prvek souboru VO	Perioda provedení		
		Údržba ošetření (rok)	Výměna nové provedení (rok)	Investice obnova zařízení (rok)
1.	Rozváděče			30
1.1	RVO, RVOO, RVOS, SM	4	16	
2.	Světelná místa			
2.1	elektrovýzbroj vč. GO patice	4	8	
2.2	svítidlo	4	12	
2.2.1	světelný zdroj		4	
2.3	nátěry			
2.3.1	stožáry VO		8	
2.3.2	výložníky na DPO, SME		8	
3.	Elektrorevize			
3.1	prohlídka v rámci preventivní údržby	4		
3.2	periodická revize vč. zprávy		8	

Na každém stavebním prvku zařízení VO tedy dojde v určitém periodickém cyklu buď k provedení údržbářských prací nebo k výměně. Vhodným naplánováním lze dosáhnout i určité rovnoměrnosti nákladů pro každý finanční rok.

V plánu PÚ je nutné vypracovat do plánu přesný popis pracovní činností na každém prvku soustavy.

Samozřejmě, že do každého uzemí budou zasahovat např. nové stavby VO, rekonstruované části VO, přeložená VO s velmi krátkou dobou od předání. V takovém případě se provede pouze mechanické očištění a prohlídka.

Finanční náročnost PÚ a přínos

Je nutné zdůraznit, že zavedení PÚ přinese následně snížení nákladů BÚ,lepší celkový technický stav provozovaného zařízení po celou dobu jeho životnosti, sníží poruchovost zařízení (tím sníží náklady na výjezdy pohotovostní služby). Po několika cyklech důsledného provádění se navíc může prokázat, že dlouhodobá PÚ fakticky posunula hranici životnosti celého zařízení VO. V žádném případě ale nelze, aby se v okamžiku, kdy např. rada města rozhodne o zavedení dlouhodobé PÚ omezily investiční finanční prostředky na celkové rekonstrukce zařízení VO dosahujícího hranice životnosti.

4.3.4 Škody na zařízeních veřejného osvětlení

V rámci VO města činí náklady na odstraňování škod a havárií podle evidence správy VO až 7 % ročních nákladů na údržbu VO. Nejpodstatnější příčiny škod na zařízení VO jsou:

- Vandalismus
- Dopravní nehody
- Ostatní stavební činnost

Vandalismus

Velkým problémem je svévolné poškozování zařízení VO, krádeže kabelových rozvodů (např. na kabelových lávkách mostů, nadchodů apod.), při čemž je nejhůře zjištěitelný pachatel. V drtivé většině tak nese náklady spojené s nápravou vlastník zařízení. U rozsáhlejších poškození, bezprostředně zjištěných po provedení, je možné spolupracovat s Policií ČR a na základě výsledku vyšetřování uplatnit náhradu škody na zjištěném viníkovi.

Prevencí na odlehlých místech, parcích, za areály škol apod. může být použití svítidel v nerozbitném provedení, nebo svítidel s co nejmenší světelně činnou plochou, nepoužívání nízkých stožárů, zvýšené zajištění rozváděčů, zvýšené zajištění dvírek stožárových rozvodnic (např. páskováním).

Dopravní nehody, vliv dopravního provozu

Důsledkem dopravních nehod je zpravidla zničení patice stožáru, zkrat na elektrovýzbroji s následným výpadkem sítě VO, deformace až úplné zničení stožáru, vlivem dynamických sil nárazu rozlomení, pád a zničení svítidla, poškození rozváděčů.

Zde je nezbytná dobrá spolupráce s Policií ČR, DI, oddělení dopravních nehod. Každé zjištěné poškození musí správce VO nahlásit na DI. Většinou je již taková nehoda ve fázi vyšetřování a DI zasílá po skončení majiteli zařízení protokol, na jehož základě uplatní majitel VO náhradu škody.

Je velké množství případů, kdy při neopatrném pohybu, couvání, zejména nákladních automobilů, je způsobena značná škoda na zařízení VO, zatím co na vozidle vznikne škoda minimální nebo vůbec žádná a viník poškození z místa ujede. Není-li přímých svědků, je většinou vyšetřování neúspěšné a majitel nemá kde náhradu škody uplatnit.

Ostatní stavební činnost

Při stavební činnosti dochází k poškozování zařízení, zejména kabelových rozvodů, zaviněné nedbalostí a nezájmem stavebních dělníků, používáním hloubících mechanismů v místech požadovaného opatrného ručního výkopu. Všeobecně se podceňuje význam VO a spoléhá na to, že je v době provádění zemních prací bývá VO mimo provoz a neohrožuje pracovníky možností úrazu elektrickým proudem. Správci VO stále chybí účinná ochrana takového poškozování rozvodu VO.

Veřejné osvětlení je přitom jediným oborem veřejně prospěšných služeb, jehož jakost i provozní stav je předepsán státní technickou normou. Chybí mu však nějaká zákonná ochrana před neoprávněnými zásahy, před následky bezohledné stavební činnosti, např. taková, jakou mají elektroenergetika, plynárenství a teplárenství (dříve ze zákona č.222/1994 Sb. dnes č.458/2000 Sb.) nebo rozvody telekomunikací podle zákona č.110/1964 Sb. o telekomunikacích ve znění zákona č.150/1992 Sb. a zákona č.253/1994 Sb.

Správce VO proto musí v rámci stavebního řízení stanovit jasné podmínky pro práci v blízkosti VO, vyžadovat jejich bezpodmínečné dodržení, trvat na objednání vytýčení rozvodu VO, a v zápise z vytýčení uplatnit opatření pro případ poškození, vyžadovat předání neporušeného vedení před záhozem apod.

4.3.5 Revize veřejného osvětlení

Veřejné osvětlení, tak jako každé jiné el. zařízení, se musí pravidelně revidovat - ČSN 33 1500. Jsou prováděny výchozí revize, pravidelné, částečné, případně mimořádné revize.

Revizí VO se zjišťuje celkový stav VO z hlediska bezpečnosti a provozní spolehlivosti. Přesný obraz o stavu VO, o jeho chybách a nedostatcích je důležitým prostředkem protiúrazové prevence. Dále je výchozím podkladem pro další zaměření údržby zařízení. Z uvedeného vyplývá, že revize VO je neoddělitelnou součástí technické údržby a preventivních oprav.

Výchozí a pravidelnou revizi může vykonávat pouze revizní technik s příslušným oprávněním. Revizní zpráva musí být uložena u provozovatele elektrického zařízení a přístupná orgánům státního odborného dozoru.

Výchozí revize

Provádí se u nově uváděných instalací do provozu (novostavby VO, zásadní přeložky, rekonstrukce ucelených částí VO apod.). Je neopominutelným dokladem pro přejímací a kolaudační řízení staveb VO. Revizní technik při ní prohlídkou, měření a zkoušením zjišťuje, jestli VO vyhovuje všem požadavkům platných předpisů a ČSN z hlediska bezpečnosti osob, věcí a provozní spolehlivosti. Kontroluje i správnou činnost zařízení VO.

Podklady pro provádění výchozí revize jsou:

- a) dokumentace elektrického zařízení odpovídající skutečnému provedení - pasport VO
- b) protokoly o určení druhu prostředí, pokud nejsou součástí dokumentace
- c) záznamy o kontrolách, zkouškách a měřeních provedených na elektrickém zařízení před jeho uvedením do provozu
- d) doklady stanovené příslušným předpisem
- e) písemné záznamy o provedených opatřeních a kontrolách v případě prací ve smyslu čl. 2.2 normy ČSN 33 1500.

Zpráva o výchozí revizi musí být uložena trvale až do zrušení elektrického zařízení.

Pravidelná revize

Provádí ve lhůtách, které jsou stanoveny v tab. 1 ČSN 33 1500 a pro zařízení VO, vzhledem k jeho zařazení podle vnějších vlivů, platí lhůta pravidelné revize **4 roky**. Prohlídkou, měření a zkoušením se zjišťuje, zda v době provozu VO nenastaly změny, úpravy a tím i odchylky od platných předpisů a ČSN, které by ohrožovaly bezpečnost osob a věcí.

Podklady pro provádění pravidelné revize jsou:

- a) dokumentace elektrického zařízení odpovídající skutečnému provedení - pasport VO
- b) protokoly o určení druhu prostředí
- c) zásady pro údržbu elektrického zařízení, tj. provádění kontrol, revizí, zkoušek a měření
- d) záznamy s výsledky provedených kontrol podle řádu preventivní údržby s podpisem pověřeného pracovníka
- e) zpráva o předchozí revizi
- f) záznamy o provedených kontrolách při pracích prováděných ve smyslu čl. 2.3, 2.6, 2.7 normy ČSN 33 1500
- g) doklady z dozorové činnosti orgánu státního odborného technického dozoru.

Provozovatel VO musí zabezpečit odstranění závad, zjištěných při pravidelné revizi VO anebo zajistit dočasné bezpečnostní opatření. Když nemůže odstranit závady, které brání podle vypracované revizní zprávy bezpečnému provozu zařízení, musí takové VO odpojit od sítě. Zpráva o pravidelné revizi musí být uložena nejméně do vyhotovení následné zprávy o pravidelné revizi.

Částečná revize

Zahrnuje jednotlivé úkony (měření izolačních a zemních odporů, kontrola jištění, nastavení ochran apod.), jejichž výsledky mohou být použity jako podklad k sestavení revizní zprávy. Může ji vykonávat i pracovník, který nemá oprávnění revizního technika, ale musí splňovat kvalifikaci dle vyhl. 50/78 Sb. a ČSN 33 1500.

Mimořádná revize

Vykonává se po živelných pohromách nebo je nařízena orgánem odborného dozoru.

4.4 Metody výpočtu osvětleností a jasů

4.4.1 Bodová metoda výpočtu horizontální intenzity osvětlení dle ČSN 36 0400

Při bodovém způsobu výpočtu se počítá intenzita osvětlení, popř. jas povrchu vozovky na srovnávací rovině v poli kontrolních míst. Pro volbu pole kontrolních míst platí tyto zásady:

- a) pole kontrolních míst pokrývá celou plochu jednoho prvku osvětlovací soustavy. U komunikací směrově rozdělených pouze jednu stranu komunikace
- b) v příčném směru je dostačující provádět výpočet ve třech kontrolních místech v každém jízdním pruhu
- c) v podélném směru, při rozteči světelných míst do 50 m je dostačující provádět výpočet v 10 kontrolních místech. Při rozteči větší než 50 m smí být rozteč kontrolních míst maximálně 5 m.

Při předepsaném rozmístění kontrolních míst se průměrná hodnota intenzity osvětlení, popř. jas určí jako aritmetický průměr hodnot v jednotlivých kontrolních místech.

Horizontální intenzita osvětlení v kontrolním místě na srovnávací rovině se počítá podle vzorce:

$$E = \sum_{i=1}^n E_i \quad (4.1)$$

E_i ...horizontální intenzita osvětlení od i -tého svítidla

$$E = \frac{I_i}{h^2} \cdot \cos^3 \gamma_i \quad (4.2)$$

n ...počet svítidel

I_i ...svítivost svítidla ve směru určeném úhly C a γ

h ...závěsná výška svítidla

γ_i ...úhel mezi normálou srovnávací roviny a daným směrem svítivosti

V literatuře (i v ČSN 36 0400) se používá tzv. redukovaný součinitel jasu.

Redukovaný součinitel jasu je různý pro různé povrchy komunikace. Bylo hledáno zjednodušení, které by snížilo množství tabulek popisujících r. Ukázalo se, že povrch je charakterizován světlostí a zrcadlením.

Činitel zrcadlení S_1 je definován jako poměr redukovaných součinitelů jasu pro úhel = 0 a $\text{tg} = 2$, resp. 0:

$$S_1 = \frac{r(0;2)}{r(0;0)} \quad (4.5)$$

Stupeň světlosti je definován průměrným součinitelem jasu Q_0 .

$$Q_0 = \frac{1}{\Omega} \int q \cdot d\Omega \quad (4.6)$$

Ω je prostorový úhel, zahrnující všechny směry dopadu světla obsažené v normalizovaných tabulkách redukovaného součinitele jasu.

Hodnoty redukovaného součinitele jasu jsou uvedeny v tabulkách. Povrchy vozovek se zařazují do dvou tříd povrchů označených CI a CII. Do třídy CI patří převážně světlé povrchy (pro které $S_1 \leq 0,4$), a pracuje se v ní s normalizovanými hodnotami činitele zrcadlení $S_1 = 0,24$ a průměrného součinitele jasu vozovky $q = 0,10 \text{ cd} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{lx}^{-1}$. Do třídy CII patří většina běžných tmavých asfaltových povrchů, pro něž $S_1 > 0,4$ a pracuje se v ní s normalizovanými hodnotami činitele zrcadlení $S_1 = 0,97$ a průměrného součinitele jasu povrchu vozovky $q = 0,07 \text{ cd} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{lx}^{-1}$. Hodnoty r uvedené v ČSN 36 0400 jsou násobeny 10^{-3} a platí pro průměrný součinitel jasu $Q_0 = 1$.

Výpočet jasů se provádí v předepsané síti kontrolních bodů. Z vypočtených hodnot se stanoví jednotlivé rovnoměrnosti a průměrné hodnoty jasu.

Vztah mezi osvětleností a jasem v kontrolním bodu je určen součinitelem jasu q .

$$L = q \cdot E \quad (4.7)$$

a určí se pomocí výrazu:

$$L = \frac{I_i}{h^2} \cdot q \cdot \cos^3 \gamma_i = \frac{I_i}{h^2} \cdot r_i \quad (4.8)$$

I_i ...je svítivost svítidla ve směru ke kontrolnímu bodu

h ...výška optického středu svítidla nad vozovkou

γ_i ...úhel mezi normálou srovnávací roviny a daným směrem svítivosti

4.5 Měření osvětlenosti a jasů ve VO

4.5.1 Úvod

Metody měření světelně technických veličin se dělí na subjektivní (vizuální) metody, při kterých se jako indikátoru využívá zraku pozorovatele, a na objektivní (fyzikální) metody, při kterých se měří fyzikálními čidly. Ke kontrole kvality osvětlovací soustavy se užívá objektivních fotometrických přístrojů se selenovými či křemíkovými fotonkami. Spektrální rozložení citlivosti fotočlánku je však odlišné od spektrální citlivosti oka pozorovatele, je proto nutno jej přizpůsobit korekčními filtry. Při šikmém dopadu světla na fotočlánek jsou naměřené fotoproudy menší než odpovídá skutečné hodnotě intenzity osvětlení. Tato chyba se kompenzuje tzv. kosinuskovými nástavci z rozptýlného materiálu.

Měření jasu a intenzity osvětlení se uskutečňuje v nočních hodinách tak, aby se vyloučila denní složka světla. Při měření je nutné eliminovat příspěvky od okolních osvětlovacích zařízení, která nejsou součástí námi měřené osvětlovací soustavy. Mezi tyto příspěvky patří osvětlení telefonních automatů, výkladních skříní, reklamy, dekorativní osvětlení atd. Měření se provádí na suchém povrchu bez sněhové pokrývky.

4.5.2 Měření osvětlení na vozovce

Měření intenzity osvětlení se provádí na srovnávací rovině luxmetrem s fotočlánkem korigovaným na citlivost lidského oka a opatřeným kosinovým nástavcem. Pro dodržení vodorovné polohy fotočlánku při měření je vhodné použít kardanův závěs (do 20 cm lze výšku fotočlánku nad povrchem vozovky zanedbat).

Měření osvětlení se provádí v pravidelném poli kontrolních míst. Místa, v nichž bude měřena hladina osvětlení, se stanoví takto:

Plocha vozovky mezi dvěma následujícími svítidly je rozdělena do měřeného pole, které je tvořeno z jednotlivých bodů, v nichž je měřena intenzita osvětlení. Měření je provedeno pro body o souřadnicích x ve směru podélné osy komunikace a y ve směru příčném na tuto osu. Pole v podélném směru začíná na kolmici k ose vozovky protínající osvětlovací těleso ležící ve vzdálenosti 60 m před pozorovatelem, končí ve vzdálenosti x_1 dané rozdílem mezi dvěma měřenými body v ose komunikace před dalším svítidlem. Při určování počtu bodů ve směru x platí zásada, že do vzdálenosti 50 m mezi následujícími svítidly je vzdálenost ve směru x rozdělena mezi 10 měřených bodů. Při větší rozteči je počet těchto bodů volen tak, aby maximální vzdálenost mezi jednotlivými body měřeného pole byla 5 m. V příčném směru postačuje uvažovat tři kontrolní body v každém jízdním pruhu. Vyhотовí se situační plán měřeného úseku v měřítku 1 : 200.

V těchto bodech je potom měřena hladina osvětlení a údaje jsou zapisovány do připravené tabulky, aby bylo možné provést přepočty na nominální hodnotu napětí zdroje oproti hodnotě zjištěné při měření.

Průměrná intenzita osvětlení je určena jako aritmetický průměr hodnot změřených v jednotlivých bodech měřeného pole.

Celková rovnoměrnost je definována poměrem minimální hodnoty k průměrné hodnotě. Podélná rovnoměrnost je definována jako poměr minimální a maximální hodnoty ve směru osy daného jízdního pruhu.

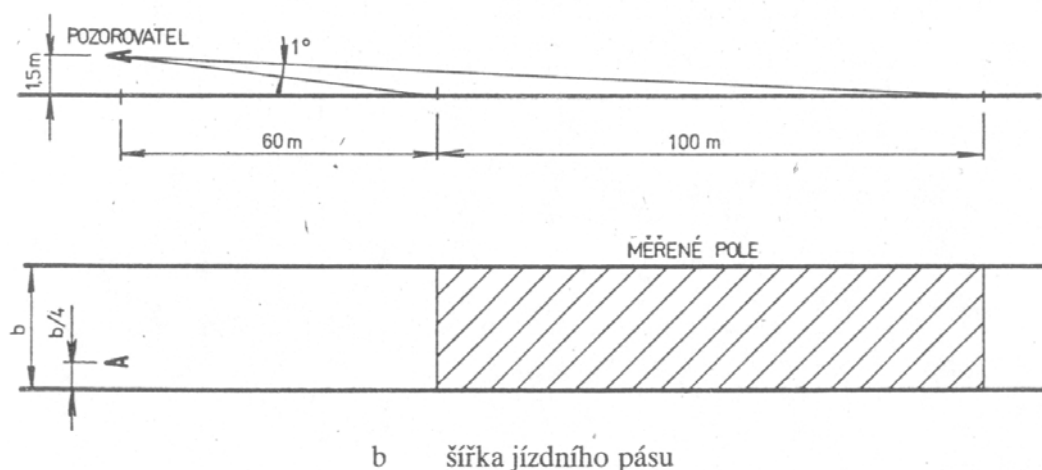
4.5.3 Měření jasu na vozovce v praxi

Měření jasu povrchu vozovky se provádí objektivním jasoměrem korigovaným na citlivost lidského oka. Při určování průměrné hodnoty jasu povrchu vozovky a celkové rovnoměrnosti jasu jsou uvažovány oči pozorovatele ve výšce 1,5 m nad vozovkou, 60 m před polem měřených míst a v $\frac{1}{4}$ šířky jízdního pruhu zprava (při uvažování pravostranné dopravy), jak je zřejmé z obr. 4.2. Měřené pole je 100 m dlouhé. Jasoměr musí být vybaven příslušnými clonami podle šířek komunikací.

Měření minimální hodnoty jasu povrchu vozovky pro určení celkové rovnoměrnosti se provádí v odpovídajícím poli kontrolních míst při zachování směru pohledu pozorovatele. Clona jasoměru se volí tak, aby měřená plocha byla co nejmenší a nezasahovala do měřených ploch sousedních kontrolních míst. Z takto naměřených hodnot lze aritmetickým průměrem stanovit průměrnou hodnotu jasu. Měření jasu na směrově rozdělených komunikacích se provádí samostatně na částech komunikace určených pro jeden směr provozu.

Hladina jasu vozovky záleží na dvou parametrech:

- a) na odrazných vlastnostech povrchu vozovky daných:
 - kompozicí materiálu vozovky,
 - okamžitým stavem vozovky (mokrý, suchý, opotřebovaný),
 - směrem osvětlení a pozicí, ze které se na vozovku díváme,
- b) na velikosti světelného toku dopadajícího na vozovku.



Obr.4.2 Měření průměrné hodnoty jasu

Z praktického pohledu je zřejmé, že měření jasu vozovky je možné realizovat až po určité době, kdy dojde k ustálení světelně technických parametrů (nejméně 1 rok provozu).

Ve zvolených bodech je změřena hodnota jasu a její průměrná hodnota je určena jako aritmetický průměr všech naměřených hodnot.

4.5.4 Nepřímá metoda měření jasu povrchu vozovky dle ČSN 36 0400.

Metoda slouží k posouzení průměrné hodnoty jasu. Metodu využíváme například, když není k dispozici vhodný jasoměr.

Jako první bod se změří intenzita osvětlení vozovky a z naměřených hodnot se vypočte se průměrná hodnota E_p' . Dále se vypočte jasový součinitel osvětlení dle vzorce:

$$e_L = \frac{E_p}{L_p} \quad (4.9)$$

E_p ...průměrná intenzita osvětlení vypočtená pro hodnocenou osv. soustavu

L_p ...průměrný jas vypočtený pro hodnocenou osvětlovací soustavu a uvažovaný povrch vozovky

Vypočte se průměrná hodnota jasu povrchu vozovky L_p' odpovídající naměřené průměrné intenzitě osvětlení při ustálených vlastnostech uvažovaného povrchu podle vzorce:

$$L_p' = \frac{E_p'}{e_L} \quad (4.10)$$

E_p' ...průměrná hodnota z naměřených intenzit osvětlení

Protokol o měření musí obsahovat:

- datum měření a název organizace provádějící měření
- použité přístroje
- označení a popis měřeného prostoru a stanovení požadovaného stupně osvětlení
- popis osvětlovací soustavy, popř. náčrtek rozmístění světelných míst a svítidel
- typ svítidel a světelných zdrojů a jejich provozní stav
- průměrné napětí v napájecí síti v době měření
- výsledné naměřené hodnoty intenzity osvětlení, popř. jasu a jejich porovnání s požadavky normy

Některé aspekty při měření:

Geometrické údaje

Namístě je třeba zjistit uspořádání osvětlovací soustavy. Tato měření by měla zahrnovat půdorysnou polohu svítidel vůči komunikaci, výšku osvětlovacích stožárů a délku výložníků. Dále by měl být, je-li to možné, zjištěn úhel sklonu, natočení (rotace) a orientace svítidel.

Napájecí napětí

Před zahájením měření osvětlení je třeba změřit napájecí napětí na nezbytném počtu osvětlovacích stožárů. V průběhu měření osvětlení je třeba napětí průběžně kontrolovat a sledovat jeho výkyvy.

Teplota

Teplotu vzduchu je třeba měřit ve výšce 1 metr nad povrchem komunikace v půlhodinových intervalech.

Měřicí přístroje

Všechny měřicí přístroje musejí být kalibrovány.

4.6 Světelné znečištění

4.6.1 Úvod

Světelné znečištění začalo být poslední dobou velmi frekventovaným pojmem. Zasloužili se o to především členové Sekce pro temné nebe České astronomické společnosti, jimž se podařilo pojem světelného znečištění prosadit do zákona číslo 86 Sb., o ochraně ovzduší a o změně některých zákonů, zkráceně zákona o ovzduší.

4.6.2 Zákon o ovzduší

Zákon schválený Poslaneckou sněmovnou dne 14. února 2002 obsahuje i ustanovení, týkající se světelného znečištění. Zákon obsahuje pouze obecnou definici světelného znečištění a zmocňuje vládu k vydání nařízení, kterým se stanoví místa a prostory, kde nesmí docházet k výskytu světelného znečištění, opatření ke snižování nebo předcházení světelného znečištění a limity stanovující horní mez světelného znečištění. Na toto nařízení mohou dále navázat nařízení obce.

4.6.3 Mezinárodní doporučení

Mezinárodní komise pro osvětlování vytvořila Směrnici pro minimalizaci záře oblohy (Guidelines for minimizing sky glow), která vznikla ve spolupráci s Mezinárodní astronomickou unií (International astronomical union, IAU) a za spoluúčasti Mezinárodní společnosti pro temné nebe (International dark-sky association). Tato směrnice je technickou zprávou, která se zabývá teoretickými aspekty záře oblohy a v níž jsou zformovány všeobecné zásady pro omezení záře oblohy. Jsou zde uvedeny limitní hodnoty podílu světelného toku svítidel do horního poloprostoru pro jednotlivé kategorie zón prostředí z hlediska potřeb astronomických pozorování. Zóny E1 - E4 jsou uvedeny v tabulce 4.4.

Tab. 4.4 Největší povolený podíl světelného toku svítidel do horního poloprostoru

Zóna	Podíl světelného toku svítidel do horního poloprostoru v %
E1	0
E2	≤ 5
E3	≤ 15
E4	≤ 25

Uvedené mezní hodnoty platí pro každé jednotlivé svítidlo v zóně. Co si pod jednotlivými zónami představit?

- E1 - oblasti se skutečně tmavým prostředím, např. národní parky apod., kde se komunikace obvykle neosvětluje,
- E2 - oblasti s nízkými jasy, obecně venkovské obytné oblasti s nízkými stupni osvětlení komunikací,
- E3 - oblasti se středně nízkými jasy, obecně městské obytné oblasti,
- E4 - oblasti s vysokými jasy, obecně městské čtvrti s pozemky k bydlení i ke komerčnímu využití se značnými aktivitami v noci.

Z hlediska astronomických aktivit je do jednotlivých zón možno zařadit:

E1 - observatoře mezinárodního a celostátních významů

E2 - postgraduální a akademická studia

E3 - studentské práce a amatérská pozorování

E4 - příležitostní pozorování noční oblohy

Technická zpráva zdůrazňuje, že světelné znečištění v určité zóně nezávisí pouze na množství znečišťujícího světelného toku vyprodukovaném ve vlastní zóně, ale je také třeba uvažovat světelné znečištění v sousedních zónách. Proto jsou navrženy vzdálenosti hranic sousedních zón od referenčního bodu, jímž může být např. astronomická observatoř. Například v případě referenčního bodu v zóně E1 by hranice zón E1-E2 měla být vzdálena nejméně 1 km, hranice zón E2-E3 nejméně 10 km a hranice zón E3-E4 nejméně 100 km. K dosažení příznivých podmínek pozorování je doporučeno zdvojnásobení uvedených vzdáleností.

Směrnice pro minimalizaci záře oblohy se v záležitostech týkajících se návrhu osvětlení se odvolává na dokumenty a to Návod k omezení vlivů rušivého světla vyvolaného venkovním osvětlením (CIE TC 5-12: Obtrusive light, Guide on the limitation of the effect of obtrusive light from outdoor lighting installations), Návod k omezení světelného znečištění (Guidance notes for the reduction of light pollution- britská Světelnětechnická společnost) a Silniční osvětlení a životní prostředí (Road lighting and the environment).

Dokument Návod k omezení vlivů rušivého světla vyvolaného venkovním osvětlením obsahuje zásady správné techniky osvětlování. Uvedený návrh publikace obsahuje řadu tabulek s omezeními hodnot světelnětechnických veličin, jejichž dodržení vede ke zmírnění rušivých vlivů osvětlení na přijatelnou míru. Rozlišuje se přitom doba po policejní hodině a před ní. Některé ze zmíněných tabulek jsou uvedeny níže.

Tab. 4.5 Maximální hodnoty osvětlenosti na nemovitosti (neplatí pro veřejné uliční osvětlení)

Světelně technická veličina	Podmínky použitelnosti	Zóna			
		E1	E2	E3	E4
Vertikální osvětlenost (E_v)	před policejní hodinou: Mezní hodnoty latí pro relevantní hranici sousedních nemovitostí, pro svislou rovinu rovnoběžnou s relevantní hranicí, do výšky úměrné případně ovlivněného příbytku. Hodnoty zde udané platí pro přímou složku osvětlenosti.	2 lx	5 lx	10 lx	23 lx
	po policejní hodině: Mezní hodnoty platí pro rovinu oken obytných místností příbytků na sousedních nemovitostech. V případě absence plánované zástavby (tj. pozemek není rozparcelován) mezní hodnoty platí pro případně ovlivněnou nemovitost, pro svislou rovinu rovnoběžnou s relevantní hranicí, při minimálních zhoršení stavu povoleném pro příbytky, do výšky odpovídající omezením územního plánu. Hodnoty zde udané platí pro přímou složku osvětlenosti.	0 lx	1 lx	2 lx	4 lx

Tab. 4.6 Max. hodnoty osvětlenosti na nemovitostech vlivem veřejného uličního osvětlení

Světelně technická veličina	Podmínky použitelnosti	Zóna			
		E1	E2	E3	E4
Vertikální osvětlenost (E_v)	Mezní hodnoty platí pro roviny oken obytných místností příbytků, které směřují k silničním komunikacím.	1 lx	1 lx	5 lx	10 lx

Tab. 4.7 Limitní hodnoty světelnětechnických veličin ve venkovním osvětlení

OMEZENÍ RUŠIVÉHO OSVĚTLENÍ VENKOVNÍMI OSVĚTLOVACÍMI SOUSTAVAMI						
Zóna	Záře oblohy UWLRL [max %]	Vertikální osvětlenost v rovině oken E_v [lx]		Svítivost zdroje světla I [kcd]		Jas budovy *** L [cd.m^{-2}]
		před policejní hodinou	po policejní hodině	před policejní hodinou **	po policejní hodině	průměrná hodnota, před policejní hodinou
E1	0	2	1 *	0	0	0
E2	5	5	1	50	0,5	5
E3	15	10	5	100	1	10
E4	25	25	10	100	2,5	25

kde: UWLRL (poměrný neužitečný světelný tok do horního poloprostoru): největší povolený podíl světelného toku svítidla, který míří přímo k obloze.

* Přijatelné POUZE, pochází-li od osvětlení veřejných komunikací.

** SVÍTIVOST ZDROJE - platí pro každý zdroj světla, který se nachází ve směru potenciálně rušivém, vně osvětlované oblasti. Zde uvedená čísla jsou obecně platné směrné hodnoty, které lze jen těžko dosáhnout např. na rozlehlém sportovišti, kde je omezená závěsná výška svítidel.

*** JAS BUDOVY - neměl by být zbytečně vysoký a měl by být úměrný jasu okolí.

Některá opatření pro snížení ovlivňování astronomických pozorování:

- nerealizovat osvětlení tam kde není nutné
- využívání monochromatických světelných zdrojů, zejména nízkotlakých sodíkových výbojek, nedochází k ovlivňování jiných postranních pásem
- odfiltrování krajních postranních pásem viditelného záření zdroje
- rušivé působení osvětlení např. reklamní a dekorativní osvětlení je možno omezit v období mezi 23 hod. a svítáním
- používat osvětlovací zařízení, které směřuje světelný tok přímo dolů, v ostatních případech je třeba omezovat unikající světelný tok vhodnými mřížkami, clonami apod.
- nesvítit více než je potřeba
- v případě osvětlování vodorovných ploch světlomety nepřekračovat úhel směrování 70° od svislice, přednostně používat asymetrické světlomety, které umožňují dodržet vodorovnou polohu výstupního otvoru.

Přesto, že výše uvedený zákon byl schválen, prováděcí právní předpis, který příslušné nařízení vlády o prevenci světelného znečištění, nabude účinnosti nejdříve začátkem roku 2003, protože bude předmětem jednání této vlády. Vzhledem k vnitřním rozporům zákona a potenciálním technickým, ekonomickým a organizačním problémům s jeho uplatněním

v praxi, plynoucích mimo jiné z absence analýzy stávajícího stavu světelného znečištění a absence vyhodnocení dopadu uplatnění uvažované regulace světelného znečištění v ČR, lze zatím těžko odhadnout, kdy by prováděcí předpis v přijatelné podobě mohl být pracovní skupinou dokončen, a kdy by mohl být skutečně předložen vládě. Vedle řady technických a ekonomických nejasností bude podstatným problémem i vtěsnání předpisů do právního rámce, vymezeného špatně formulovanými ustanoveními zákona, do rámce zmocnění nařízení vlády, ale i skloubení návrhu ustanoveními jiných zákonů a právních předpisů.

4.7 Udržovací činitel

Vlivem prostředí a provozních podmínek dochází u osvětlovacích soustav během jejich života k vratným a nevratným změnám, které ovlivňují parametry světelných zdrojů. Mezi tyto změny patří:

- stárnutí světelných zdrojů, stárnutí a znečištění svítidel
- stárnutí a znečištění povrchů osvětlovaného prostoru
- vyhořívání (předčasné ukončení života) světelných zdrojů
- poruchy na světelnotechnických a elektrických částech zařízení
- změny napětí a kmitočtu v napájecí síti
- změny teplot a jiných parametrů obklopujícího ovzduší
- vlastnosti prostředí, v němž jsou svítidla instalována

Velikost změny parametrů osvětlovací soustavy jsou funkcí více proměnných a lze je vyjádřit vztahem:

$$Z = Z_{z(t)} \cdot Z_{s(t)} \cdot Z_{p(t)} \cdot Z_{fz(t)} \cdot Z_v \cdot Z_u \quad (4.11)$$

$Z_{z(t)}$...činitel stárnutí světelných zdrojů

$Z_{s(t)}$...činitel znečištění svítidel

$Z_{p(t)}$...činitel znečištění (a stárnutí) ploch osvětlovaného prostoru

$Z_{fz(t)}$...činitel funkční spolehlivosti světelných zdrojů

Z_v ...činitel teploty

Z_u ...činitel napětí

Norma ČSN 360450 definuje tzv. udržovací činitel, který se rovná celkovému činiteli změn, neuvažujeme-li poslední dva parametry viz vztah a platí:

$$Z = Z_z \cdot Z_s \cdot Z_p \cdot Z_{fz} = \frac{E_{pk}}{E_{p0}} \quad (4.12)$$

E_{pk} ...je místně průměrná osvětlenost časově konečná (minimální, pod níž nesmí během provozu nikdy klesnout)

E_{p0} ...je místně průměrná osvětlenost časově počáteční (maximální, na počátku provozu)

Osvětlované prostory ve venkovním prostředí obvykle nebyvají ohraničeny stěnami a stropem, takže je ve výše uvedeném vztahu možno vynechat činitel Z_p (uvažovat $Z_p = 1$). Pokud je výměna světelných zdrojů prováděna bezprostředně po jejich výpadku, lze totéž

učinít v případě činitele z_z . Udržovací činitel se pak vypočte jako součin pouhých dvou činitelů:

$$Z = Z_z \cdot Z_s \quad (4.13)$$

V daném prostředí (s určitou úrovní znečištění ovzduší) má tedy na velikost udržovacího činitele zásadní vliv volba světelného zdroje (a s ní související průběh poklesu světelného toku v průběhu života) a volba svítidla (především jeho konstrukční řešení, použité světelné činné materiály a jejich technologické zpracování).

Pro udržovací činitel dále platí:

$$z = \frac{E_{pk}}{E_{p0}} < 1 \quad (4.14)$$

Pozn.: Stejný vztah platí i v případě jasových požadavků (uplatňovaných např. při osvětlení silničních komunikací vyšších stupňů osvětlení), pouze osvětlení E se nahradí jasnem L .

Hodnota udržovacího činitele uvažovaná při návrhu osvětlovací soustavy zásadně ovlivňuje investiční i energetickou náročnost osvětlovacích soustav. Např. hodnota udržovacího činitele $z = 0,5$ znamená, že v novém stavu soustava zajišťuje dvakrát vyšší hladinu osvětlení než je požadovaná nejnižší provozní hodnota (předepsaná normou nebo jiným předpisem). Je tedy žádoucí používat vyšších hodnot udržovacího činitele. Použitá velikost udržovacího činitele však musí odrážet reálné vlastnosti osvětlovacích prostředků a reálný plán údržby. Dle ČSN 360400 nesmí být činitel údržby nižší než 0,6.

Hodinová sazba údržby venkovního osvětlení (např. veřejného osvětlení měst a obcí) bývá vyšší než v případě osvětlení vnitřních prostorů, protože se většinou musí provádět z mobilních vysokovzdušných pracovních plošin a vzdálenosti světelných míst jsou velké. Z hlediska nákladů na údržbu je výhodné, aby intervaly mezi zákroky byly co nejdelší. Skutečně použitý udržovací činitel by v detailním případě měl vycházet z minimalizace celkových nákladů na osvětlení.

Z výše uvedených důvodů se např. v případě veřejného osvětlení jeví jako nejvýhodnější provádění čištění svítidel současně s výměnou světelných zdrojů, přičemž výměna světelných zdrojů by měla být prováděna plošně (tzv. skupinová výměna) v kombinaci s individuální výměnou světelných zdrojů v meziobdobí. Kvalitní vysokotlaké sodíkové výbojky v současné době umožňují provádět skupinovou výměnu světelných zdrojů v dlouhých intervalech.

Optimální délka intervalu výměny světelných zdrojů závisí především na průběhu jejich úmrtnostní křivky a poklesu světelného toku, na ceně světelných zdrojů a na výši nákladů na skupinovou a individuální výměnu těchto zdrojů. Jsou známy případy, kdy se ve veřejném osvětlení provádí skupinová výměna světelných zdrojů jednou za čtyři roky, ale i jednou ročně. Častější výměna výbojek může eliminovat rychlejší pokles světelného toku a kratší život levnějších výbojek.

4.8 Vztah VO k životnímu prostředí

4.8.1 Úvod

Obecně je možno říct, že osvětlování má vliv na životní prostředí ve formě přímé a nepřímé. Mezi přímé působení na životní prostředí patří provoz světelného zdroje. S provozem světelného zdroje souvisí poruchy biorytmů rostlin a živočichů, špatná orientace nočních ptáků, negativní působení na hmyz, omezená viditelnost při pozorování hvězd. Dalším přímým působením je problém s likvidací světelného zdroje po ukončení jeho života. Spotřeba elektrické energie při osvětlování patří mezi vlivy nepřímé. Při výrobě elektřiny dochází samozřejmě k negativnímu dopadu na životní prostředí.

Možnosti odstranění nepřímých vlivů je možné zkorigovat snížením spotřeby elektrické energie při provozu osvětlení. Ve veřejném osvětlení se jedná hlavně o stmívání osvětlení v době omezeného provozu a také v kvalitním návrhu osvětlovací soustavy.

4.8.2 Nakládání s odpady VO

Odpad je obecně definován jako movitá věc, která se pro vlastníka stala nepotřebnou a vlastník se jí zbavuje s úmyslem ji odložit, nebo která byly vyřazena na základě zvláštního právního předpisu. Původcem odpadů je právnická nebo fyzická osoba oprávněná k podnikání, pokud při její podnikatelské činnosti vzniká odpad. Vyřazené výrobky světelné techniky se stávají odpadem, mezi nejzávadnější odpad patří výbojové světelné zdroje. Při provozování VO, zejména při jeho údržbě, přeložce, obnově dochází ke vzniku odpadů, je nutno likvidovat v souladu se zákonem č. 185/2001 Sb., vyhláškou č. 383/2001 Sb.

Povinnosti původce odpadů:

- 1) Trvale nabízet k využití odpady, které sám nemůže využít. Nelze-li odpady využít, zajistit jejich zneškodnění.
- 2) Původci jsou povinni shromažďovat, zařazovat, evidovat, kontrolovat a zabezpečovat své odpady.
- 3) Odpovědnost původce trvá do doby předání odpadu oprávněné osobě.
- 4) Nakládat s nebezpečnými odpady lze jen se souhlasem příslušného okresního úřadu (OÚ), tento souhlas se nevyžaduje při přepravě a dopravě.

Provozovatelé VO musí mít za zákona č. 17/1992 Sb. o životním prostředí vypracovaný a příslušným státním orgánem schválený program odpadového hospodářství, protože při jejich činnosti dochází ke vzniku odpadu.

4.8.3 Charakteristika odpadů s obsahem rtuti

Společným znakem výbojových světelných zdrojů je to, že zdrojem světla je výboj ve rtuťových parách.

Rtuť je nejstarší a nejvýznamnější průmyslový jed. Má schopnost, obdobně jako další kovy olovo (Pb), arsen (As) a kadmium (Cd), vázat se na thiolové skupiny (-SH) enzymů a způsobit tak vážné poškození organismu. Toxické vlastnosti rtuti závisí vedle množství také na chemickém složení a způsobu podání. Otravy parami rtuti jsou možné hlavně v oblasti průmyslové výroby.

Rtuť a její sloučeniny doprovází v odpadech řada dalších škodlivých příměsí. U výbojových světelných zdrojů jsou to zejména vysoce toxické sloučeniny barya, thalia a kadmia, z dalších nežádoucích příměsí lze uvést olovo, antimon, indium, stroncium, thorium a vanad.

Žárovky se řadí do skupiny ostatních odpadů (kategorie O). Všechny výbojové světelné zdroje patří do kategorie nebezpečných odpadů (N), kód odpadu 20 01 21. Nebezpečnost odpadů se hodnotí podle nebezpečných vlastností, které odpad má nebo může mít. U odpadů s obsahem těžkých kovů (rtuť) a dalších škodlivin jsou těmito nebezpečnými vlastnostmi ekotoxicita, následná nebezpečnost a akutní toxicita.

4.8.4 Zpětný odběr některých výrobků

Povinnost zpětného odběru se stahuje na minerální oleje, elektrické akumulátory, galvanické články a baterie, **výbojky a zářivky**, pneumatiky, chladničky používané v domácnostech.

Povinnost zajistit zpětný odběr použitých výrobků určených ke zpětnému odběru má právnická osoba nebo fyzická osoba oprávněná k podnikání, která výrobky uvede do oběhu. Zpětně odebrané výrobky je třeba nejpozději do konce následujícího roku využít a recyklovat. Zpětný odběr výrobků musí být proveden bez nároku na úplatu za tento odběr od spotřebitele. Místa zpětného odběru musí být pro spotřebitele stejně dostupná jako místa prodeje výrobků, na které se povinnost zpětného odběru vztahuje.

5. MOŽNOSTI ÚSPOR NA VEŘEJNÉM OSVĚTLENÍ

5.1 Přehled racionalizačních opatření

Racionalizační opatření lze rozdělit podle v kapitole 3.1.2 definovaných základních prvků VO.

V osvětlovacím systému jsou to především opatření týkající se modernizace a optimalizace světelných zdrojů, svítidel a optimálním prostorovém uspořádání a využití světelných bodů.

V napájecím systému je to regulace napětí, regulace světelného toku a zrovnoměnění odběru proudů v jednotlivých fázích. Tím dojde ke zmenšení ztrát v elektrických rozvodech. Nabízí se zde i možnost zmenšování počtu rozváděčů napájejících osvětlovací soustavy.

V ovládacím systému spočívá racionalizace v řízení a monitorování provozu osvětlovacích soustav.

Výše uvedenými opatřeními lze dosáhnout zmenšení spotřeby elektrické energie, a tím zmenšení provozních nákladů. Monitorováním provozního stavu osvětlovací soustavy a jejím řízením lze snížit náklady na údržbu a především zvýšit spolehlivost provozu.

Racionalizační opatření lze provádět na základě důsledného zpracování pasportu a generelu VO. Viz kapitola 4.2. Zjištěním stávajícího stavu a návrhem racionalizačních opatření vedoucím k úsporám elektrické energie ve VO se zabývá energetický audit viz kapitola 5.5.

5.2 Optimalizace v osvětlovacích systémech

5.2.1 Světelné zdroje

Z hlediska provozních nákladů má v případě světelných zdrojů především význam doba života a měrný výkon ($\text{lm} \cdot \text{W}^{-1}$). Je zřejmé, že pro potřeby VO je nutno preferovat výbojové zdroje. Jejich vysoký měrný výkon a dlouhý život snižuje náklady na světelné zdroje a jejich výměnu. To je zvláště důležité při umístění svítidel v těžko přístupných místech. Mezi negativní vlastnosti výbojek patří dlouhá doba náběhu a znovuzápalu. Nevýhoda je rovněž potřeba předřadných zařízení, zapalovacích zařízení a kompenzačních a odrušovacích kondenzátorů.

Zásadní měrou ovlivňuje provozní spolehlivost světelných zdrojů a tím i svítidel kvalita předřadníků. Protože v nich dochází ke ztrátám, ovlivňují i energetickou náročnost svítidel. Z hlediska spolehlivosti jsou důležitá zapalovací zařízení, která startují výbojový zdroj.

Vedle spolehlivosti funkce je stále více žádáno provedení s tzv. odpojovačem, které odpojí vadnou výbojku od napájecí sítě a zamezí nepříjemnému a život zkracujícímu cyklování.

Při výběru např. rozdílných výbojek může rozhodovat také obsah rtuti, kterou některé nové typy výbojek neobsahují vůbec. Kromě rtuti je zde snaha vyloučit kadmium z luminoforů, olovo ve skleněných polotovarech, radioaktivní thorium v emisních hmotách atd. Použití halogenidových výbojek sice prodražuje osvětlovací soustavu, ale jejich světlo je z hlediska

barevného podání kvalitnější a poslední výzkumy ukazují, že spektrální složení světla významně ovlivňuje zrakový výkon i rychlost reakce. Zde stojí za povšimnutí zmínit halogenidové výbojky s hořákem z korundové keramiky, které vykazují vysokou kolorimetrickou stabilitu. Za povšimnutí stojí rovněž znát činitel stárnutí světelných zdrojů, lépe řečeno jeho časovou závislost. Tento činitel výrazně ovlivňuje činitel údržby. Čím je tento činitel vyšší, tím se prodlužuje interval údržby a rovněž snižuje energetickou náročnost.

5.2.2 Svítidla a prostorové uspořádání

Zásadní vliv na hospodárnost osvětlení má konstrukční řešení svítidla. Ovlivňuje světelnou účinnost při prostorovém rozložení světelného toku optimálním pro daný účel. Požadované fotometrické rozložení svítivosti se dosahuje použitím vysoce účinných reflektorů, refraktorů a difuzorů. Vedle tvaru světelně činných prvků svítidla je neméně důležitá volba konstrukčních materiálů s ohledem na jejich optické vlastnosti, mezi něž patří činitel odrazu, prostupu a indexu lomu.

Výrobky renomovaných firem se vyznačují používáním světelně činných materiálů zaručujících vysokou světelnou účinnost a požadované rozložení světelného toku v průběhu celého života svítidel.

Pro výrobu zrcadlových reflektorů se např. používá hliníku čistoty 99,9% s odolným eloxovaným povrchem, a někdy jsou dokonce nabízeny skleněné reflektory, u nichž jsou nevratné změny sníženy na úplné minimum.

U plastových světlopropustných optických prvků je z hlediska časové stálosti fotometrických vlastností velmi důležitá především odolnost vůči UV záření. Např. zatímco činitel pohlcení polykarbonátového optického krytu svítidla stabilizovaného vůči UV záření vzroste během dvanácti let z původního cca 1% na cca 4%, v případě nestabilizovaného polykarbonátu vzroste za stejnou dobu na více než 14%.

U uzavřených svítidel má na časovou stálost světelných parametrů podstatný vliv stupeň krytí optické části. Pro venkovní elektrická zařízení se např. vyžaduje kvůli zajištění bezpečnosti provozu krytí minimálně IP 23, ale v případě optické části svítidel je dnes v praxi většinou požadováno krytí IP 54 nebo např. u uličních svítidel až IP 65. Stupeň krytí optické části úzce souvisí s mírou poklesu světelného toku svítidel v čase, zvyšuje velikost udržovacího činitele a ovlivňuje tak výši investičních i provozních nákladů.

Výrobky renomovaných firem se v případě stupně krytí vyznačují tím, že deklarovaný stupeň krytí svítidlo skutečně má a to nejen v době prodeje, ale i v průběhu jeho provozování.

Kvalitní svítidla jsou dále konstruována tak, aby se na jejich světelně činných částech co nejméně usazovaly nečistoty, a aby se tyto části daly snadno čistit.

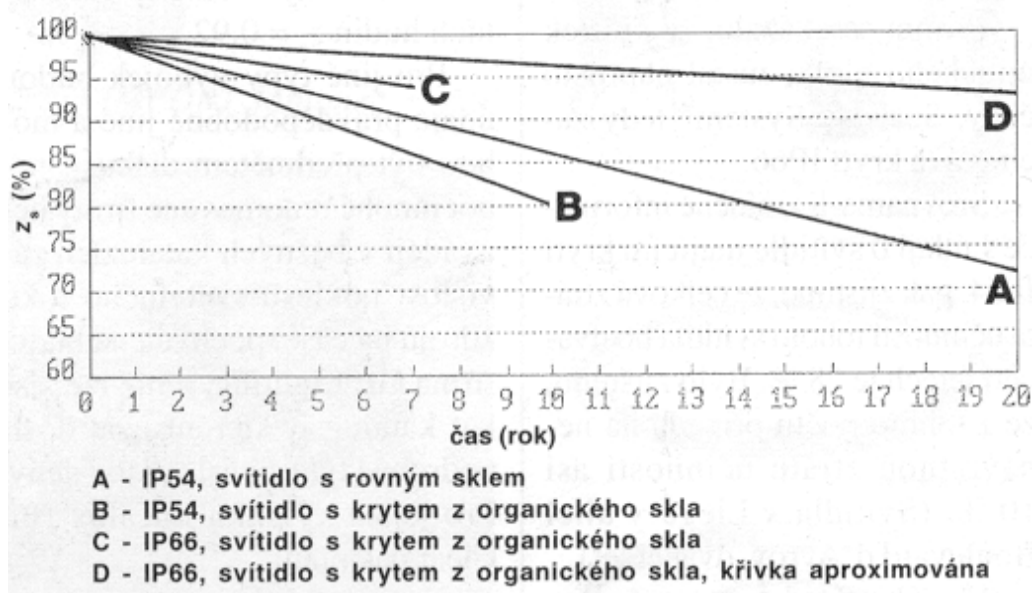
Pokud jsou svítidla vystavena nebezpečí hrubého zacházení, jak tomu bývá především ve veřejně přístupných prostorech, musí být použité konstrukční materiály dostatečně mechanicky odolné a snadno dosažitelná svítidla nesmějí být lehce demontovatelná a rozebíratelná bez použití speciálních nástrojů. V opačném případě dochází k jejich pravidelné devastaci a jejich použití je vyhazováním peněz.

Na druhé straně musí být umožněn rychlý a pohodlný přístup údržby k světelným zdrojům a předřadníkům. Proto, je-li to možné, vybavují se svítidla rychloupínacími uzávěry. V elektrické části svítidla se užívá konektorové propojení, aby se předřadníky v případě potřeby mohly snadno vyjmout ze svítidla a vyměnit za náhradní, nebo opravit v dílně.

Ve vyspělých zemích světa dnes jednoznačně převládá snaha používat osvětlovací zařízení s vysokou užitkovou hodnotou, pro kvalitní, energeticky úsporné světelné zdroje s dlouhým jmenovitým životem, s nízkoztrátovými nebo elektronickými předřadníky, s dobrými a stabilními fotometrickými vlastnostmi, se snadnou a pohodlnou obsluhou, údržbou apod.

Vedle moderního designu jsou např. žádána a samozřejmě také nabízena svítidla z recyklovatelných materiálů.

Stejně jako u světelných zdrojů hraje činitel stárnutí světelného zdroje důležitou roli z hlediska údržby, tak u svítidel je to činitel znečištění svítidla. Jeho velikost a hlavně časový průběh je ovlivněn především krytím světelněčinných částí. Na obr. 5.1 je znázorněna



Obr. 5.1 Závislost činitele znečištění svítidel na době provozu

závislost činitele znečištění na době provozu pro vybrané typy svítidel.

Uvědomme si však, že stupeň krytí se může časem měnit (klesá). Jinak si totiž nelze vysvětlit skutečnost, proč některá svítidla, jež mají deklarováno krytí např. IP64, jsou plna nejen prachu, ale i hmyzu, který by tam podle IP neměl být. Ve skutečnosti se totiž jejich krytí horší (obvykle za to mohou těsnicí materiály a velké plochy, které mají být utěsněny). Proto i velikost plochy, kterou těsníme (na zvolený stupeň krytí), a způsob krytí hrají velmi důležitou roli. Neznačená tedy jednoznačně, že krytí IP 66 u výrobku jedné značky bude mít postupem času stejné vlastnosti jako u výrobku jiné značky.

Z hlediska snížení světelného znečištění svítidly VO lze konstatovat, že znečištění, to znamená únik světelného toku do horního poloprostoru činí u moderních svítidel asi 0,4%, kdežto odrazy od osvětlovaných ploch vyvolávají únik asi 8%. Podíl mezi oběma příspěvky je tedy dvacetinásobný. Omezit únik světelného toku do horního poloprostoru lze těmito prostředky:

1. Použití moderního osvětlovacího tělesa:
 - a. vhodné krytí - IP 65 až IP 67 - zamezuje vniknutí nečistot do optického bloku, čímž dochází k nižšímu rozptylu světelného toku na optickém krytu svítidla
 - b. počítačově definovaný tvar paraboly - výrazně zlepšuje správné nasměrování světelného toku
 - c. povrch paraboly - musí co nejlépe odrazet světelný paprsek
2. Povrchem osvětlované komunikace - zde je jistě větší prostor ke snížení světelného znečištění, protože příspěvek světla odraženého od komunikace není zanedbatelný - znamená to zajistit povrch s co nejlepšími difúzními vlastnostmi, tj. nelesklý povrch, ne příliš světlý.
3. Čistotou vzduchu v osvětlovaném prostoru - čím méně bude v prostoru, ve kterém dopadá světelný tok nečistot, tím méně se bude světelného toku odrazet nevhodným směrem.
4. Dalšími oblastmi možného snížení světelného znečištění oblohy jsou normou ČSN 36 0410 dané hodnoty jasů povrchu komunikací, resp. správné zařazení těchto komunikací, regulace intenzity osvětlení v pozdních nočních hodinách a obdobná opatření, která již však souvisí s bezpečnostními hledisky pohybu osob a vozidel na komunikacích.

Prostorové uspořádání svítidel souvisí s maximalizací činitele využití osvětlovací soustavy. Tento je dán podílem světelného toku, který dopadá na užitnou plochu, v našem případě na komunikaci a toku vyzařovaném svítidlem. Vhodnou geometrií osvětlovací soustavy, to znamená výškou světelného místa, roztečí světelných míst a typem soustavy lze pro daný typ svítidla s deklarovanou distribucí světelného toku dosáhnout toho, aby se činitel využití blížil hodnotě 1.

5.3 Optimalizace napájecího systému

5.3.1 Regulace napětí

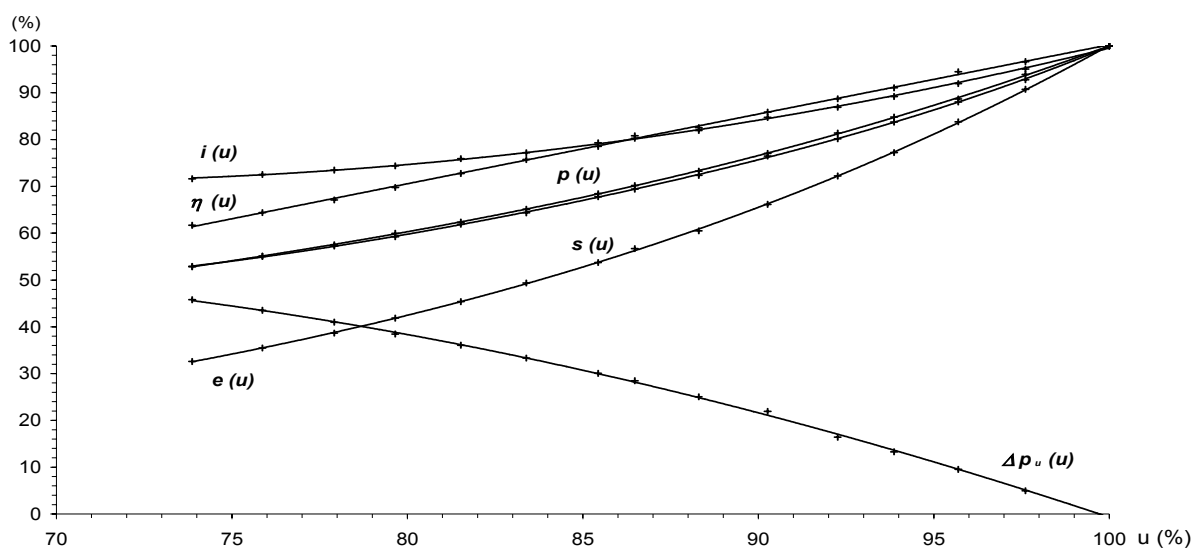
Veřejné osvětlení je napájeno z distribuční sítě, jejíž napětí může být proměnlivé v čase i prostoru. Časovou proměnností se rozumí zvýšení napěťové hladiny v nočních hodinách a naopak její snížení během ranních případně pozdně odpoledních špiček. Prostorovou proměnlivostí se rozumí trvalé přepětí v blízkosti napájecího distribučního transformátoru a trvalé podpětí v případě velké vzdálenosti od distribučního transformátoru, popřípadě na konci vedení VO.

Je známo že velikost napětí má vliv na příkon osvětlovací soustavy a také ovlivňuje život světelného zdroje.

Vliv přepětí na život světelných zdrojů je nesporně negativní. Uvádí se, že například přepětí o 20% zkracuje život sodíkových vysokotlakých výbojek na polovinu. Jak vyplývá z křížových charakteristik vysokotlakých sodíkových výbojek snížení napětí o 10% snižuje světelný tok a si o 30% viz obr. 2.30. Může tedy dojít i při správně navržené osvětlovací soustavě, že tato nedosahuje parametrů daných normami, a to zvláště na konci intervalu údržby osvětlení. Při velkých podpětích dokonce nemusí například je-li napětí na svítidle se sodíkovými výbojkami

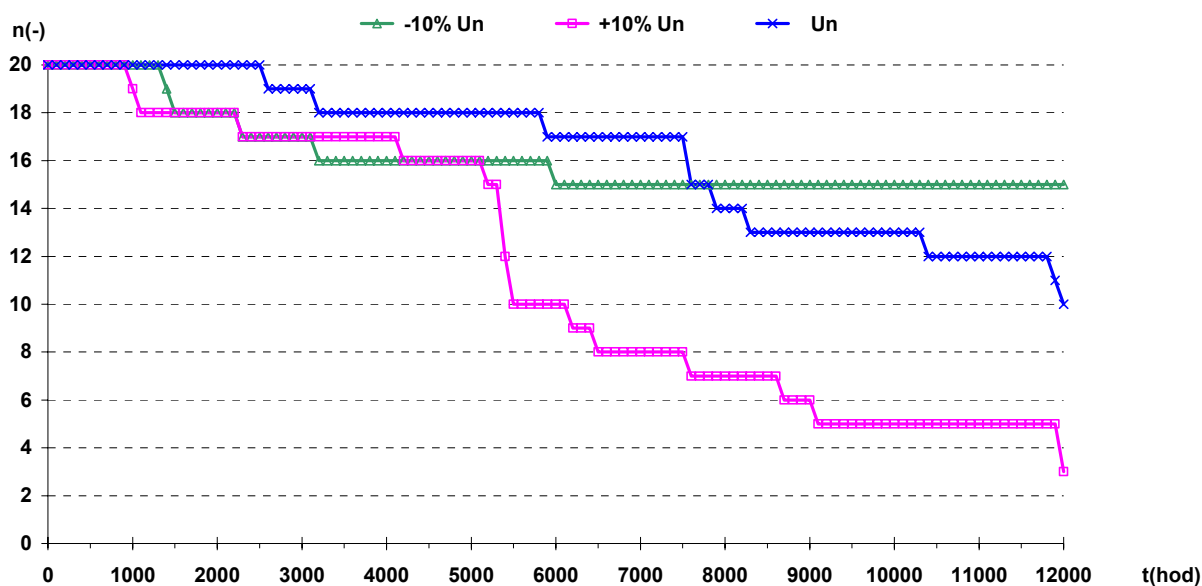
menší než 180V, zapalovací zařízení výbojku nastartovat. Ke zhasnutí výbojky může dojít i při rychlé změně popřípadě krátkodobém přerušení napětí v napájecí síti.

Na základě provedených experimentů lze potvrdit, že se snižováním napětí klesá proud a příkon, a dále se snižuje ušetřený činný výkon tím, že klesají činné ztráty na napájecím vedení s kvadrátem proudu. Tyto závislosti jsou vyneseny v poměrných jednotkách na obr. 5.2. Bohužel světelný tok v závislosti na napájecím napětí $e(u)$ klesá se snižováním napětí rychleji než činný příkon $p(u)$. Důsledkem toho je, že měrný světelný výkon zdroje se snižováním napětí klesá. Je tedy zřejmé, že při sníženém napětí nepracuje výbojka v optimálním režimu.



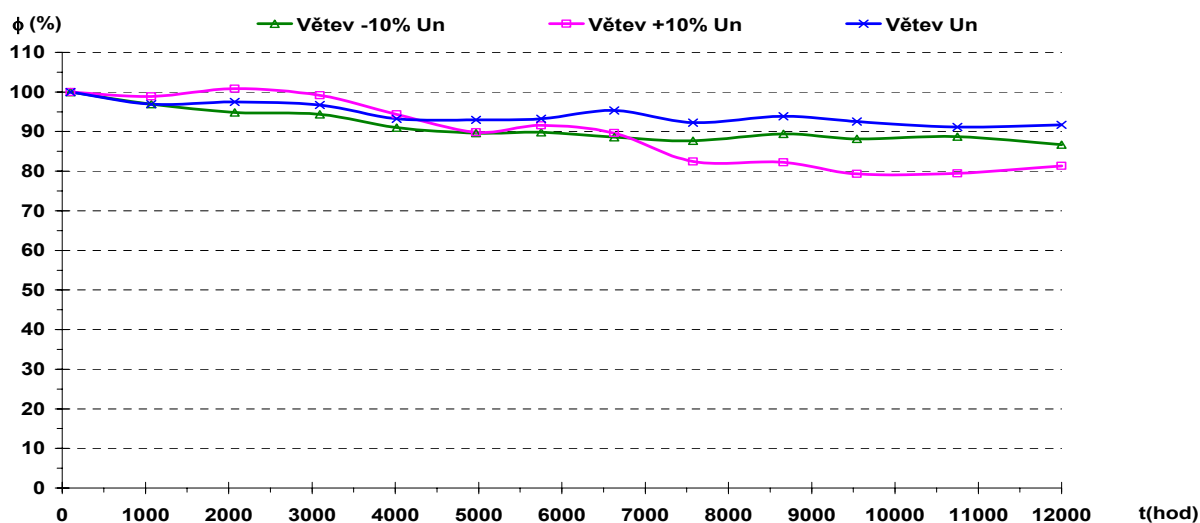
Obr. 5.2 Poměrné hodnoty měřených veličin proudu výbojem $i(u)$, zdánlivým příkonem $s(u)$, činným příkonem $p(u)$, měrným světelným výkonem $\eta(u)$, intenzity osvětlení $e(u)$ a ušetřeným činným příkonem $\Delta p_u(u)$ v závislosti na napájecím napětí

Na základě požadavku ověření vlivu napětí na život sodíkových výbojek se na VŠB TU Ostrava proběhl experiment, který sestával z testování 60 ks sodíkových výbojek výrobců Tesla Holešovice (SHC 70W), GE (LUCALOX LU70/90/T12/27), Philips (SON-T 70W), Osram (VIALOX NAV-E (SON-E)). Každá z těchto firem dodala 15 ks světelných zdrojů, z nichž se vytvořily tři nezávislé větve po 20 ks svítidel. První větev byla provozována při sníženém napětí o 10% od jmenovitého, druhá na jmenovitém napětí a třetí při napětí zvýšeném o 10%. K výbojkám byly použity předřadníky doporučené výrobcem svítidel a světelných zdrojů. Během 24 hodinového cyklu byly prováděny dvě vypnutí a zapnutí všech tří větví tak, aby se simuloval skutečný provoz. Mezi každým vypnutím byla nastavena hodina pro vychladnutí světelného zdroje a předřadníku. V následujících grafech jsou uvedeny veličiny, které charakterizují provoz svítidla v závislosti na provozních hodinách.



Obr. 5.3 Počet světelných zdrojů v závislosti na napájecím napětí větve a provozních hodinách (úmrtnostní křivka)

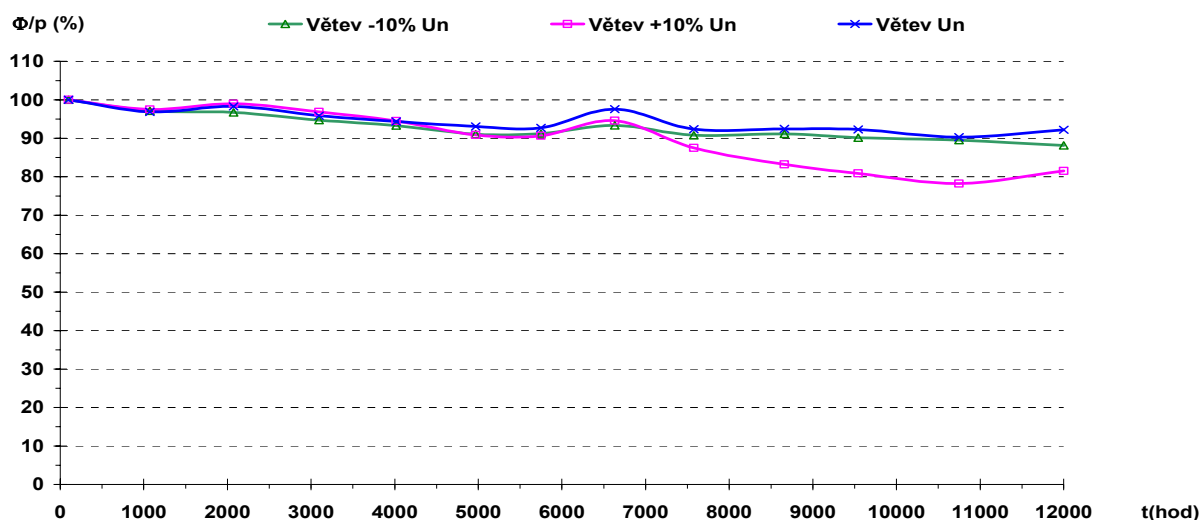
Z hlediska odsvícených provozních hodin lze za nejdůležitější považovat závislost počtu svítících zdrojů, která je uvedena na obrázku 5.3. Z grafu lze zcela jednoznačně vyčíst, že po 12 000 provozních hodinách, zůstaly ze souboru 20 zdrojů v provozu pouze 3 kusy při zvýšeném napětí $U_n + 10\%$, 10 ks světelných zdrojů při jmenovité napětí U_n a 15 ks při napětí snížené $U_n - 10\%$. Tímto experimentem se potvrdil známý fakt, že přepětí zkracuje život světelných zdrojů. Mezi skupinou zdrojů napájených jmenovitým a sníženým napětím je rozdíl ve prospěch zdrojů se sníženým napájecím napětím. Menší počet vyhořelých zdrojů u souboru s podpětím ve srovnání se souborem s jmenovitým napětím je zřejmě způsoben menším protékajícím proudem výbojem světelného zdroje v důsledku sníženého napětí.



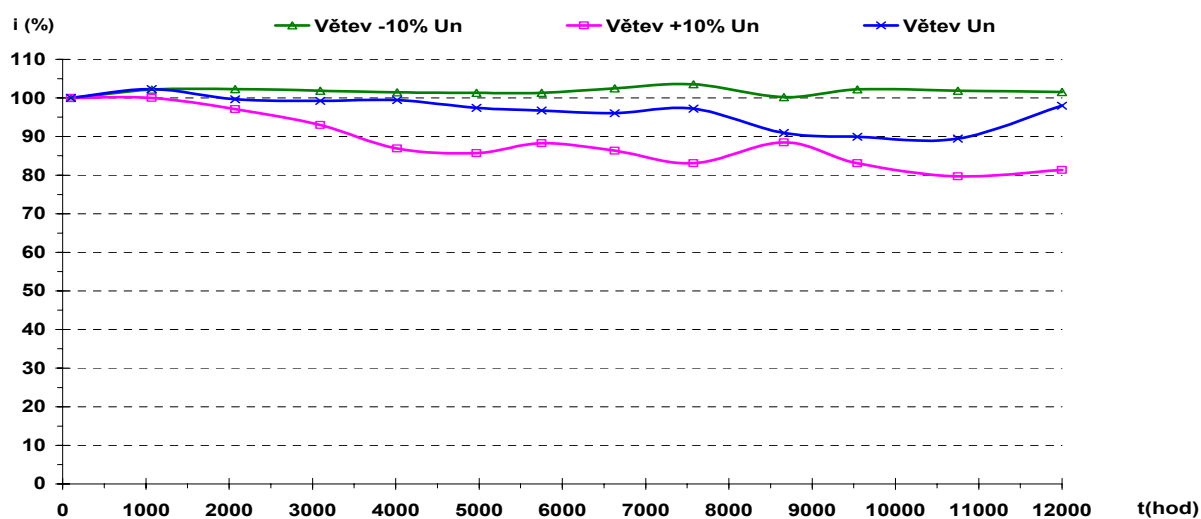
Obr. 5.4 Světelný tok zdrojů v závislosti na napájecím napětí větve a provozních hodinách

Budeme-li posuzovat život světelných zdrojů podle poklesu jejich světelného toku viz kap. 2.3.1, pak lze z časového záznamu viz obr. 5.4. konstatovat, že po 12 000 provozních hodinách nastal podle předpokladu největší pokles u světelných zdrojů provozovaných se zvýšeným napětím a to 20%. U zdrojů s napětím jmenovitým je pokles nižší a to kolem 8%. U světelných zdrojů provozovaných s napětím sníženým je to 14%. Pokles světelného toku je tedy u souboru provozovaného při zvýšeném napětí nejvyšší. Zde je nutné při porovnávání větví se jmenovitou a sníženou hodnotou napájecího napětí vzít v úvahu fakt, že u jmenovité větve došlo těsně před koncem posledního měření k výpadku dvou světelných zdrojů. A tento výpadek ovlivnil pozitivně průměr větve, což bude platit i pro dále uvedené závislosti. Z toho vyplývá, že údaj světelného toku je korektnější u souboru provozovaném při sníženém napětí.

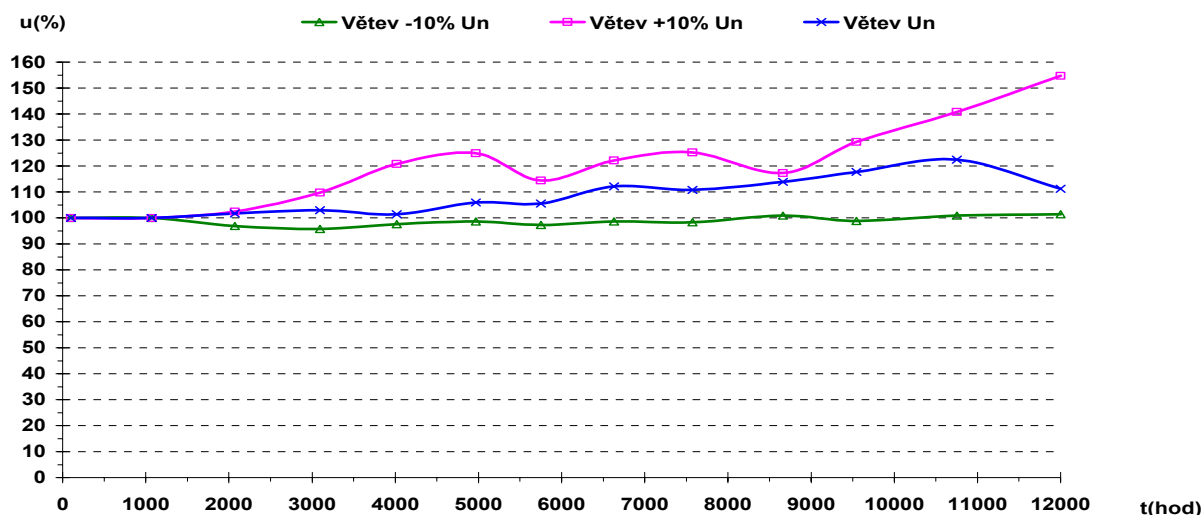
Na obr. 5.5 až 5.8 jsou zaznamenány další parametry, které sice s životem světelných zdrojů bezprostředně nesouvisí, ale definují jejich provozní vlastnosti.



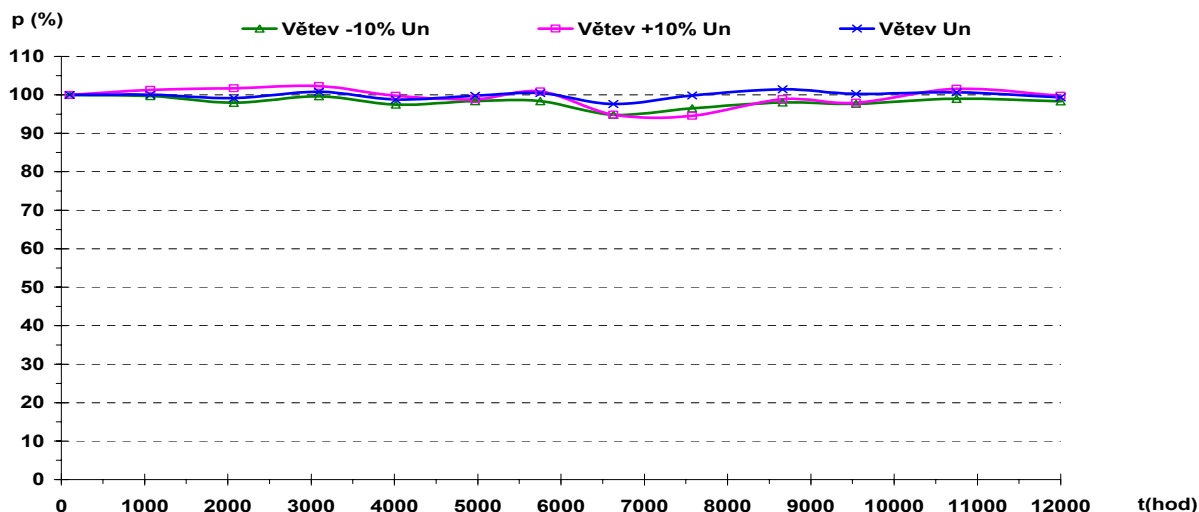
Obr. 5.5 Měrný výkon světelných zdrojů v závislosti na napájecím napětí větve a provozních hodinách



Obr. 5.6 Proud výbojkou v závislosti na napájecím napětí větve a provozních hodinách



Obr. 5.7 Napětí na výboji v závislosti na napájecím napětí větve a provozních hodinách



Obr. 5.8 Příkon soustavy výbojka – předřadník v závislosti na napájecím napětí větve a provozních hodinách

Na obr. 5.5 je zobrazena závislost měrného výkonu výbojek v závislosti na provozních hodinách, obr. 5.6 zobrazuje závislost proudu výbojkou na provozních hodinách, obr. 5.7 zobrazuje nárůst efektivní hodnoty napětí na výboji a obr. 5.8 zobrazuje závislost celkového příkonu. O velikosti napětí na výboji je možné konstatovat, že má přímou diagnostickou souvislost se stádiem života výbojky. Čím je vyšší jeho poměrná hodnota vzhledem k počátečnímu stavu, tím je výbojka více vyčerpaná a blíží se ukončení její provozuschopnosti (nebude schopná se při jmenovitém napětí zapálit a proces zapalování se opakuje v cyklech). Nejvyšších hodnot poměrná hodnota napětí na výboji dosahuje přirozeně u větve napájené napětím zvýšeným o 10% nad jmenovitou hodnotu. To může také pomoci vysvětlit poznatek, že světelné zdroje dlouhodobě provozované při přepětí nejsou schopny vzhledem k jejich vyčerpanému životu a tím i zvýšeném napětí na výboji spolehlivě zapalovat při napětí jmenovitém.

Výše provedený experiment prokázal, že přepětí v našem případě 10% má větší vliv na vyhořívání světelných zdrojů a tím zkracování jejich fyzického života více, než jak se uvádí v odborné literatuře. Z celkového počtu 100% zdrojů na začátku zůstává po 12 000 hodinách provozu (tj. asi za 3 roky při předpokládaném svícení 4 000 hod. ročně) u větve s přepětím asi 25% funkčních zdrojů, u větve s jmenovitým napětím asi 50% funkčních zdrojů a u větve s podpětím asi 75% funkčních zdrojů. Z toho vyplývá, že stabilizace napětí může přinést značné úspory z hlediska provozu osvětlovací soustavy. Hrubým odhadem lze konstatovat, že při přepětí bude v osvětlovací soustavě po třech letech o 25% více vyhořelých zdrojů a u soustavy s podpětím o 25% méně vyhořelých zdrojů než u soustavy s napětím jmenovitým. Toto tvrzení platí pro přepětí a podpětí $\pm 10\%$. Při vyšším přepětí bude proces stárnutí ještě rychlejší.

Budeme-li posuzovat výše zmíněné soubory z hlediska fyzického života, tak tento byl po 12 000 hod. provozu ukončen, protože v souboru napájeném jmenovitým napětím došlo k 50% výpadku.

Budeme-li posuzovat výše měřené soubory z hlediska užitečného života, tak ani u souboru vystavenému přepětí nedošlo k jeho ukončení.

Výše uvedené závěry mají informativní charakter, protože soubory (po 20 kusech) nelze považovat za statisticky významné.

Pro ověření časové a prostorové závislosti napěťové hladiny osvětlovacích soustav byl proveden experiment na VO v Ostravě. Dosud bylo změřeno 15 ks rozváděčů. V každém rozváděči bylo provedeno měření napětí a proudu ve všech třech fázích při době měření asi jeden týden včetně sobot a nedělí. Cílem měření je provést a vyhodnotit kolísání napětí během dne a týdne, a z průběhů proudů a napětí vyhodnotit proudovou případně napěťovou nesymetrii.

Průměrné maximální, minimální hodnoty napětí lze vyčíst z tabulek 5.1, 5.2. Z měření vyplývá, že napětí v jednotlivých fázích může být rozdílné (RVO 911) a také mezi jednotlivými rozváděči jsou velké rozdíly $U_{\max} = 247,5$ V (RVO 705), $U_{\min} = 207,2$ V (RVO 911). Není však velký rozdíl mezi minimálním a maximálním napětím během dne a během sobot a nedělí. Měření prokázalo velké rozdíly mezi proudy v jednotlivých fázích. Například v RVO 939 je to (22,0A; 9,5 A ; 16,7 A). Tato proudová nesymetrie způsobuje přídavné ztráty výkonu.

Tab. 5.1 Pracovní dny

číslo měření	číslo RVO	U1 [V]	U2 [V]	U3 [V]	průměr	max.	min.	průměr	max.	min.	U1 [A]	U2 [A]	U3 [A]	U1 [A]	U2 [A]	U3 [A]	Poznámka			
1	RVO 991	231.8	229.6	229.0	236.3	234.1	234.0	229.6	227.4	226.2	30.3	27.1	19.9	31.8	30.7	22.0	27.5	26.1	18.1	
2	RVO 929	240.7	240.5	238.6	244.2	244.2	241.9	235.2	236.3	234.1	17.7	15.9	29.1	29.6	21.3	46.8	0.0	0.0	0.0	
3	RVO 950	230.3	230.4	229.4	233.0	233.0	231.8	226.2	227.4	226.2	23.8	35.0	28.5	26.5	35.9	36.9	0.0	0.0	0.0	
4	RVO 875	242.6	240.2	242.5	245.3	243.0	245.3	240.8	238.6	240.8	25.4	24.5	29.1	26.0	26.5	31.7	0.0	0.0	0.0	TRIMR zapojen
5	RVO 875	239.8	237.5	238.2	244.2	241.9	243.0	237.4	235.2	235.2	21.4	28.1	26.5	26.5	34.8	32.2	0.0	0.0	0.0	TRIMR odpojen
6	RVO 811	226.1	228.8	230.9	234.1	233.0	236.3	221.8	225.1	227.4	85.3	56.3	62.9	110.8	71.8	78.0	0.0	0.0	0.0	
7	RVO 901	240.5	239.9	237.9	241.9	241.9	239.7	237.4	237.4	235.2	17.2	14.1	15.3	17.7	20.8	20.8	0.0	0.0	0.0	
8	RVO 939	235.5	235.3	234.9	238.6	238.6	238.6	231.8	230.7	230.7	22.0	9.5	16.7	33.8	15.6	21.8	0.0	0.0	0.0	
9	RVO 995																			vadná data
10	RVO 911	222.3	214.3	221.0	227.4	226.2	229.6	217.3	207.2	212.8	21.3	19.9	23.2	22.9	21.3	25.5	0.0	0.0	0.0	
11	RVO 995	236.5	235.6	234.6	239.7	238.6	237.4	234.1	233.0	231.8	16.0	21.5	15.0	24.4	31.2	19.8	0.0	0.0	0.0	opak.měr. č.9
12	RVO 850	233.1	230.5	234.9	236.3	236.3	241.9	229.6	225.1	229.6	19.2	23.1	20.3	26.5	32.8	30.7	0.0	0.0	0.0	
13	RVO 501	244.0	241.2	236.8	247.5	245.3	240.8	239.7	236.3	231.8	13.5	26.4	38.7	21.8	44.7	55.8	0.0	0.0	0.0	
14	RVO 705	241.0	240.2	246.3	246.4	244.2	248.6	234.1	235.2	241.9	29.1	16.9	2.3	52.0	28.6	4.7	0.0	0.0	0.0	
15	RVO 704	229.6	228.4	227.8	233.0	231.8	230.7	226.2	224.0	224.0	15.9	21.4	21.2	25.5	36.4	35.9	0.0	0.0	0.0	
16	RVO 600	241.3	239.9	242.0	244.2	243.0	245.3	235.2	234.1	236.3	22.1	31.7	26.0	25.5	34.3	33.3	0.0	0.0	0.0	
17	RVO 602	205.6	201.4	203.3	220.6	217.3	218.4	189.3	184.8	187.0	8.2	7.5	9.0	10.9	9.9	11.4	6.8	6.8	7.8	TRIMR zapojen
18	RVO 602	241.8	237.2	240.4	245.3	241.9	245.3	236.3	231.8	235.2	11.0	9.9	11.9	17.2	15.6	18.2	10.4	9.4	11.4	TRIMR odpojen

Tab. 5.2 Víkendové dny

číslo měření	číslo RVO	U1 [V]	U2 [V]	U3 [V]	U1 [V]	U2 [V]	U3 [V]	U1 [V]	U2 [V]	U3 [V]	I1 [A]	I2 [A]	I3 [A]	I1 [A]	I2 [A]	I3 [A]	I1 [A]	I2 [A]	I3 [A]	Poznámka
1	RVO 991	231.7	229.6	228.7	236.3	234.1	233.0	227.4	225.1	224.0	30.2	25.9	20.8	32.0	31.0	23.2	0.0	0.0	0.0	
2	RVO 929	238.5	238.3	236.0	243.0	243.0	240.8	235.2	235.2	233.0	17.0	15.8	29.4	26.0	20.3	46.8	0.0	0.0	0.0	
3	RVO 950	230.4	230.1	229.6	234.1	233.0	233.0	225.1	224.0	224.0	23.7	34.8	28.4	26.0	35.4	35.9	0.0	0.0	0.0	
4	RVO 875	243.1	241.2	244.0	246.4	244.2	247.5	240.8	238.6	241.9	25.2	24.4	28.7	26.5	27.0	32.8	0.0	0.0	0.0	TRIMR zapojen
5	RVO 875	241.0	238.8	240.0	245.3	243.0	244.2	237.4	235.2	236.3	18.9	24.9	24.4	26.5	35.9	34.3	0.0	0.0	0.0	TRIMR odpojen
6	RVO 811	227.1	229.9	230.2	233.0	233.0	234.1	221.8	225.1	225.1	85.0	56.3	62.8	114.4	74.9	80.6	0.0	0.0	0.0	
7	RVO 901	241.0	240.5	238.3	245.3	244.2	241.9	238.6	237.4	236.3	17.0	14.2	15.5	18.2	19.2	20.8	15.6	13.5	15.1	
8	RVO 939	237.3	237.0	237.3	240.8	239.7	239.7	234.1	234.1	234.1	22.3	9.6	17.0	32.2	15.6	22.4	0.0	0.0	0.0	
9	RVO 995																			vadná data
10	RVO 911	222.9	215.9	221.8	227.4	227.4	230.7	217.3	209.4	212.8	21.3	20.1	24.1	22.9	21.3	26.5	0.0	0.0	0.0	
11	RVO 995	237.6	236.4	235.3	239.7	238.6	237.4	235.2	234.1	233.0	16.1	21.7	15.2	21.8	28.1	19.1	0.0	0.0	0.0	opak.měř. č.9
12	RVO 850	230.9	231.2	233.5	236.3	236.3	239.7	236.3	236.3	239.7	19.0	22.9	20.3	25.5	31.7	29.1	0.0	0.0	0.0	
13	RVO 501	242.2	239.4	235.3	246.4	244.2	240.8	239.7	236.3	233.0	14.9	26.4	38.7	24.4	44.7	58.8	0.0	0.0	0.0	
14	RVO 705	239.2	237.3	243.6	246.4	241.9	246.4	234.1	234.1	239.7	28.6	16.8	2.3	52.0	28.1	4.7	0.0	0.0	0.0	
15	RVO 704	228.2	226.7	226.1	230.7	229.6	225.1	222.9	222.9	222.9	15.8	21.4	20.8	25.0	35.4	34.8	0.0	0.0	0.0	
16	RVO 600	240.3	239.1	241.6	244.2	243.0	245.3	237.4	236.3	238.6	22.0	31.9	26.0	26.0	36.4	34.3	0.0	0.0	0.0	
17	RVO 602	204.6	200.3	202.2	220.6	216.2	218.4	191.5	187.0	189.3	8.1	7.4	8.9	10.9	9.9	12.0	6.8	6.8	7.8	TRIMR zapojen
18	RVO 602	243.1	238.1	242.0	247.5	241.9	245.3	236.3	230.7	234.1	11.1	10.0	12.0	11.4	10.4	12.5	10.4	9.4	11.4	TRIMR odpojen

Ukázka popisu měřeného místa se nachází v tabulce 5.3.

Tab. 5.3 Popis měřeného místa (rozevaděče)

Číslo měření: 1
Číslo rozvaděče: RVO 991
Název místa-ulice: ul. Studentská, Ostrava-Poruba
Měřicí aparatura: MDS3 výrobní číslo: 1880
Konfigurace měření: 3 x U , 3 x I , 3 x cosφ (fáz. hodnoty), kleště 30A, průměrné hodnoty z intervalu záznamu 30sec., startováno klíčem
Začátek měření: úterý 5.3.2002 Konec měření: úterý 12.03.2002
Název souboru naměřených dat: RVO991.dat
Poznámka: první pokusné měření - vyhodnotitelné

Ukázka výstupního souboru údajů z měřicí soupravy viz tab. 5.4

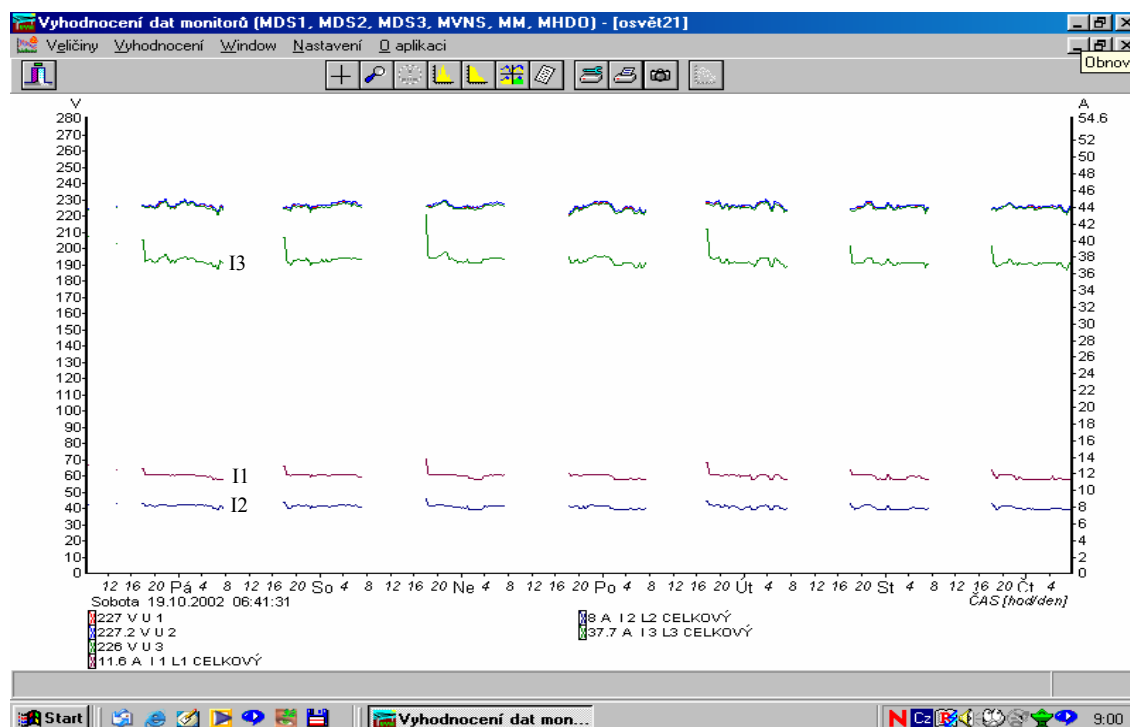
Tab. 5.4 Souhrnné zpracování - Plzeňská-Čujkovová RVO 602 TRIMR vol.den

Zpracovávaný soubor: C:\MERENI\EGUBRNO\WINMDS\OSVĚT17A.DAT
Číslo monitoru: 1442
Číslo měření: 17
Provozní číslo trafostanice: 602
Začátek měření (vyhodnocení): 07.09.02 19:03:12
Konec měření (vyhodnocení): 08.09.02 06:17:42
Proudové vývody
I1 L1 CELKOVÝ MT 100A Jis. 0
I2 L2 CELKOVÝ MT 100A Jis. 0
I3 L3 CELKOVÝ MT 100A Jis. 0
ZÁKLADNÍ MĚŘENÍ

NAPĚTÍ [V]			
	U1	U2	U3
PRŮMĚR	204.6	200.3	202.2
MAXIMUM	220.6	216.2	218.4
hod:min:sec	22:47:12	22:27:12	22:51:42
den.měs.den t.	7.9.Sob	7.9.Sob	7.9.Sob
MINIMUM	191.5	187.0	189.3
hod:min:sec	3:20:42	3:22:42	3:3:12
den.měs.den t.	8.9.Ned	8.9.Ned	8.9.Ned
200 V + 5 %	46.47	41.62	46.31
200 V - 5 %	0.00	45.75	1.35

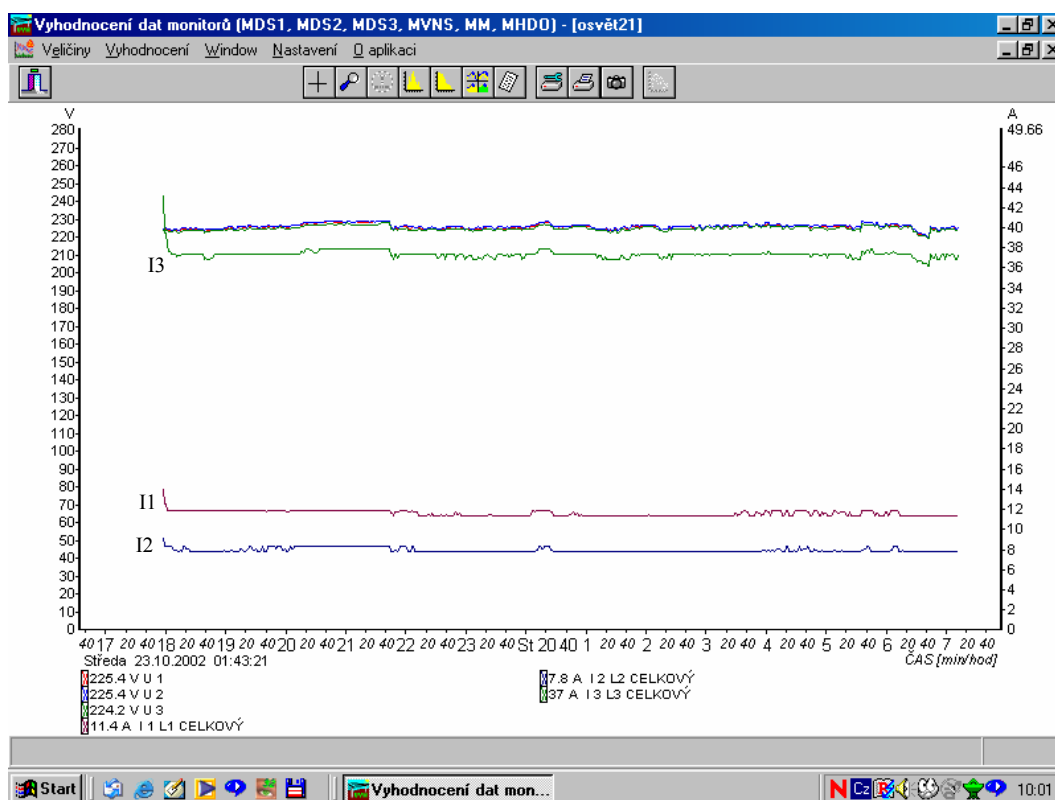
PROUD [A] - CELKOVÝ			
	I1 (1)	I2 (2)	I3 (3)
PRŮMĚR	8.1	7.4	8.9
MAXIMUM	10.9	9.9	12.0
hod:min:sec	19:30:12	19:30:12	19:30:12
den.měs.den t.	7.9.Sob	7.9.Sob	7.9.Sob
MINIMUM	6.8	6.8	7.8
hod:min:sec	2:8:12	0:4:42	1:52:12
den.měs.den t.	8.9.Ned	8.9.Ned	8.9.Ned

Časový záznam týdenního měření proudů a napětí v jednotlivých fázích viz obr. 5.9.



Obr. 5.9 Časový záznam týdenního měření proudů a napětí v jednotlivých fázích

Časový záznam denního měření proudů a napětí v jednotlivých fázích se nachází na obr. 5.10



Obr. 5.10 Časový záznam denního měření proudů a napětí v jednotlivých fázích

5.3.2 Regulace osvětlení

Normy ČSN 36 0410 a ČSN 36 0411 připouštějí při výrazném snížení provozu snížení jasů a osvětleností (stmívání) až o dva stupně. Teoreticky to znamená možnost snížení těchto hodnot až na jednu třetinu. Toto snížení se dá velice snadno dosáhnout regulací napětí. Z křížových charakteristik viz obr. 2.30 vyplývá, že změna napětí o $\pm 1\%$ vyvolává změnu světelného toku u sodíkových výbojek asi o $\pm 3\%$. Ve skutečnosti jsme limitováni napětím, které by nemělo u sodíkových výbojek poklesnout pod hodnotu kolem 180 V. Podkročením těchto hodnot se výbojka dostává do nestabilního stavu a jakákoliv dynamická změna může vyvolat zhasnutí výbojky. Při těchto napětích dochází k poklesu jasů a osvětlenosti asi o 65% a poklesu příkonu asi o 50%.

Výrazně snížený provoz nastává ve většině měst a obcí mezi 23⁰⁰ až 5⁰⁰ hodinou, což představuje dobu delší než 2 000 hod. za rok. To znamená, že teoreticky můžeme snížit po dobu 2 000 hod. výkon osvětlovacích soustav VO na polovinu.

Při spotřebě elektrické energie v ČR na VO za rok 2000, která činila 608,8 GWh tomu odpovídá při sazbě 1,64 Kč.kWh⁻¹ cena el. energie 998,4 mil Kč. Bude-li provedena regulace světelného toku po dobu 2 000 hod. z celkové doby ročního provozu 4 000 hod., tak budou teoretické úspory činit téměř 250 mil. Kč.

Druhy regulačních systémů

Na trhu je v současné době k dispozici celá řada regulačních systémů, různé provenience, různého typu a samozřejmě i různé kvality. Při jejich volbě je třeba zvažovat poměr ceny, kvality, komfortu servisu a délky záruky. Principiálně jsou k dispozici dva typy regulace.

Fázová regulace

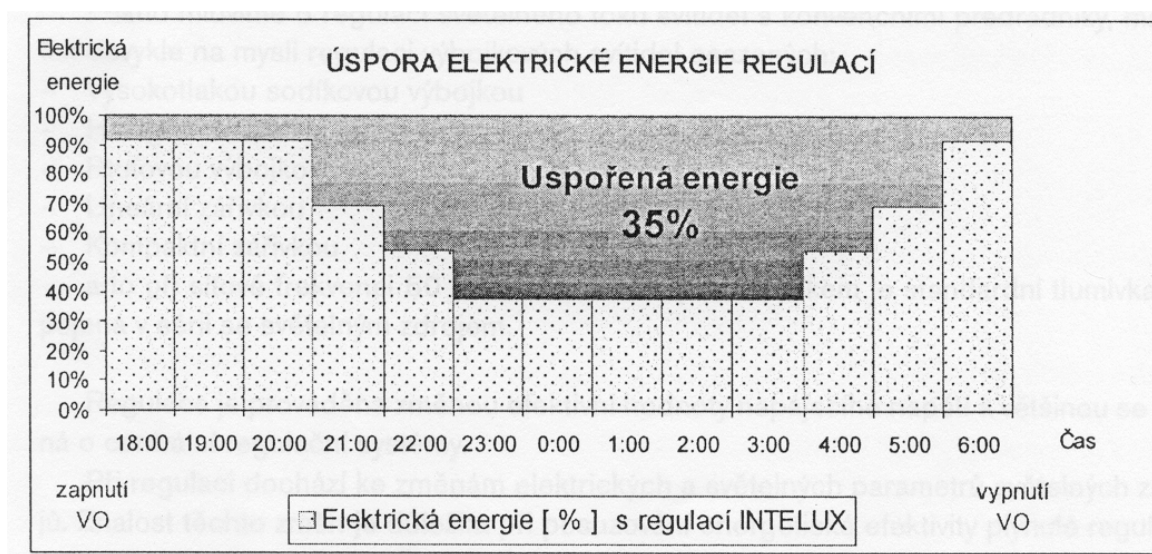
Jedná se o regulaci napětím. Systém reguluje světelný tok světelného zdroje změnou efektivní hodnoty napětí, přičemž amplituda napětí zůstává nezměněna. Např. u systému INTELUX je založen na bázi jednofázových měničů ve výkonové řadě od 1 do 10,3 kVA, tj. od 4 do 45 A. Výhodou systému je:

- vysoká modularita
- možnost vestavby do stávajících napájecích rozváděčů
- velký rozsah regulace
- minimální nároky na údržbu
- možnosti rozšíření nebo redukce
- vysoké přizpůsobení příkonu soustavy VO
- dlouhá životnost
- dlouhá záruční doba

Amplitudová regulace

Jedná se rovněž o regulaci napětím. Systém reguluje světelný tok světelného zdroje změnou efektivní hodnoty napětí, ke které dochází změnou amplitudy napětí. Např. u systému REVERBERI je založen na bázi transformátorové regulace ve výkonové řadě od 9 do 132 kVA. Tento systém je obvykle proveden jako samostatný rozváděč, který se instaluje do série se stávajícím napájecím rozváděčem. Tyto systémy jsou dodávány v různých variantách a v různé kvalitě. Liší se zejména cenou, komfortem, nároky na údržbu, kvalitou, životností, dobou záruky apod. Nej kvalitnější z nich jsou vybaveny tzv. zařízením telemanagementu, tzn., že je možno s nimi dálkově komunikovat prostřednictvím GSM telefonů nebo prostřednictvím radiové sítě.

Příklad aplikace regulačního systému se nachází na obr. 5.11.

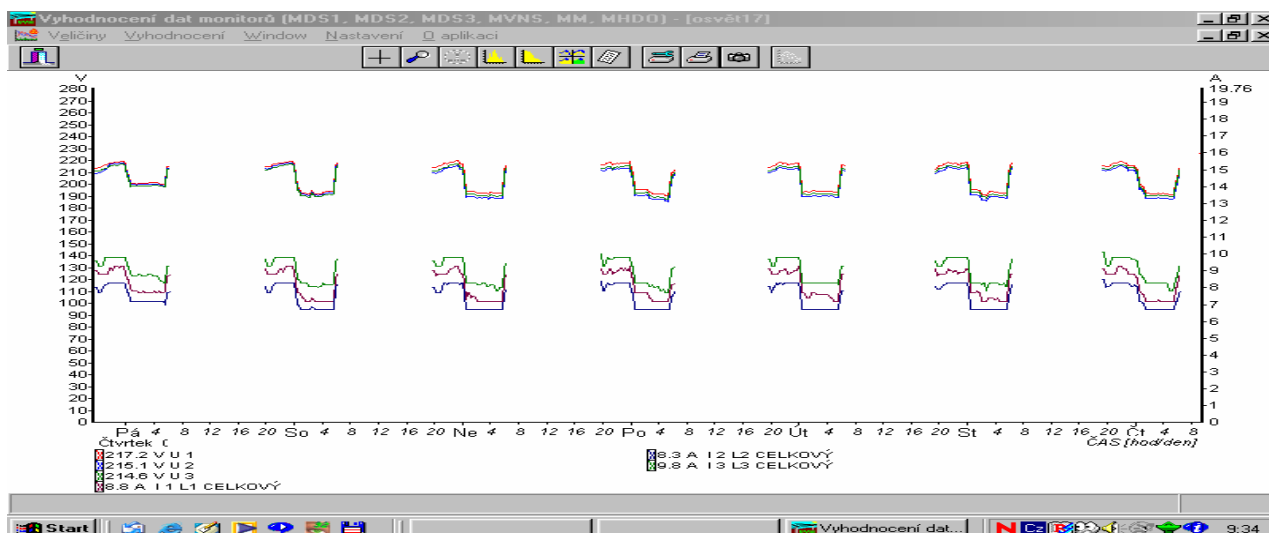


Obr. 5.11 Aplikace regulačního systému

Nutno podotknout, že při regulaci světelného toku dochází ke změně teploty chromatičnosti světelného zdroje. K velmi malé změně, řádově jednotek procent, dochází u lineárních zářivek a vysokotlakých sodíkových výbojek. U halogenidových výbojek dochází při snížení napětí na výbojce k výraznému zvýšení teploty chromatičnosti v řádu desítek procent.

Ušetřená energie se zvyšuje také kompenzací snížení světelného toku a kompenzací předdimenzování osvětlení

Záznam parametrů při stmívání provedeného pomocí regulátoru TRIMR se nachází na obr. 5.12 a 5.13



Obr. 5.12 Záznam proudů a napětí při stmívání během týdne



Obr. 5.13 Záznam proudů a napětí při stmívání během dne

Kompenzace snížení světelného toku

Vzhledem k tomu, že výbojky a zářivkové trubice „stárnou“ a jejich světelný tok se během jejich života snižuje, používá se při návrhu osvětlení tzv. činitel údržby v hodnotě obvykle 0,6 až 0,8. To znamená, že v osvětlovacím systému s novými zdroji - např. po provedení pravidelné údržby, při činiteli 0,7, je počáteční hladina osvětlení o 30% vyšší než je navrženo.

Jakmile světelný zdroj dosáhne konce svého ekonomického života, hladina osvětlení se vyrovná projektové úrovni, nebereme-li v úvahu předimenzování soustavy. Pomocí uzavřené smyčky - zpětné vazby může plynulá regulace osvětlení tento proces stárnutí eliminovat a osvětlenost může být regulována a udržována na požadované úrovni. Pokud je použit vhodný systém pro plynulou regulaci osvětlení, je možno dosáhnout úspory elektrické energie ve výši 10 až 15%. Tuto úsporu je možno stanovit velmi přesně.

Kompenzace předimenzování osvětlení

V době, kdy je prováděn návrh osvětlení, je mnoho parametrů neznámých. Proto je v průběhu návrhu použito předpokládaných údajů, většinou bývá návrh konzervativní. Díky tomuto faktoru je předimenzování osvětlení obecným rysem. Pomocí systému pro plynulou regulaci se zpětnou vazbou je možno tyto faktory kompenzovat, a tím dosáhnout úspor elektrické energie mezi 0 až 50% (obvykle kolem 25%). Úspory jsou velmi závislé na stupni předimenzování a dají se velmi přesně stanovit, pokud jsou známy exaktní výsledky návrhu osvětlení a parametry osvětlovaného prostoru.

Postup při návrhu umístění regulátoru

Výběr nejvhodnějšího místa regulátoru by se měl opírat o následující zjištění:

- Znalost požadavků na osvětlenost případně jasy (zařazení do tříd) a ověření měřením, zda jsou tyto požadavky splněny, překročeny nebo nesplněny. Důležité je vědět, zda se jedná o městské silniční osvětlení nebo osvětlení pěších zón. Doba stmívání se volí podle dopravního ruchu individuálně.
- Znalost napětí během minimálně 24 hod. popřípadě jeho velikost v době, kdy je VO v provozu. Napětí by se mělo změřit dlouhodoběji za účelem zjistit, zda se nevyskytuje v místě napájení rozváděče trvalé podpětí anebo přepětí.
- Znalost velikosti napětí nejen v místě připojení rozváděče, ale také v nejvzdálenějším bodě. Prakticky to znamená, že připustíme-li nejnižší napětí na konci vedení asi 180 V, tak při respektování úbytku 5% (11,5 V) nemůže v napájecím bodě stmívat pod 191,5 V. Tím je dána minimální hodnota napětí. Minimální hodnota napětí rovněž souvisí s typem světelných zdrojů.
- Znalost velikosti příkonu osvětlovací soustavy VO a to celkového i v jednotlivých fázích
- Znalost technického stavu a doby života osvětlovací soustavy. Nemá smysl regulovat osv. soustavu, která je před rekonstrukcí, která vede zpravidla k snížení jejího příkonu zavedením nových zdrojů a svítidel.
- Znalost typu a umístění stávajícího rozváděče, počet vývodů, způsob ovládání a jistění.
- znalost možností sdružit některé rozváděče do jednoho místa z důvodů jejich nedostatečného vytížení. Tato situace je obvyklá při rekonstrukci osv. soustavy, kdy zastaralá svítidla jsou nahrazena novými o menších příkonech.

Projekt regulace napětí a stmívání

Chceme-li provést regulaci napětí a stmívání VO, je nutná znalost, zda se jedná:

- Projekt nové osvětlovací soustavy
- Projekt rekonstruované osvětlovací soustavy (provedena výměna svítidel)
- Projekt instalace regulátorů do stávající soustavy

V případě úplně nového projektu je postup při návrhu standardní. Navíc je nutno projektovou dokumentaci vybavit zapojením regulátoru pro stmívání. Doporučuje se, aby rozvaděč pro regulaci a stmívání byl vybaven hlavním vypínačem, elektroměrem a jisticími prvky jednotlivých vývodů. Dále se doporučuje, aby projektant stanovil režim stmívání a zkontroloval napájecí vedení na úbytek napětí. Je třeba si uvědomit tzv. samoregulační

vlastnost osvětlovacích soustav. V režimu stmívání v důsledku sníženého napětí teče sodíkovými a obecně jakýmkoliv výbojkami menší proud. Z křížových charakteristik viz obr. 2.30 vyplývá, že zmenšení napětí o 10% vyvolá zmenšení proudu asi o 8%. To má za následek i zmenšení úbytku napětí. To znamená, že vyhovuje-li osvětlovací soustava na jmenovitý úbytek napětí, nebude tento úbytek v režimu stmívání překročen, ale naopak bude menší.

Výkon rozváděče se volí z řady vyráběných výkonů a doporučuje se, aby jeho výkon rozváděče byl asi o 10% vyšší než je výkon osvětlovací soustavy a to z důvodu náběhu proudu..

Doporučuje se nastavit v prvním roce provozu snížené napětí, ve kterém je soustava z důvodu dodržení udržovacího činitele přesvětlena.

U rekonstruované osvětlovací soustavy je třeba ověřit výpočtem, zda tato vyhovuje na úbytek napětí pouze v případě, že soustava nevyhovovala před rekonstrukcí. U rekonstruované soustavy se totiž předpokládá, že úbytek napětí bude menší. Regulátory není nutné vybavovat jištěním, měřením a vypínáním pokud stávající napájecí rozváděče jsou vyhovující. Doporučuje se však upravit jejich jištění na menší hodnoty, i když se průřezy kabelů nemění.

Vzhledem k tomu, že rekonstruovaná soustava má zpravidla menší příkon, doporučuje se měření příkonu v jednotlivých stávajících napájecích rozváděčích a jejich rekonstrukce na odbočné skříně. Tím se dosáhne omezení počtu napájecích rozváděčů. Výkon regulátorů by měl být opět asi o 10% vyšší než výkon osvětlovací soustavy.

V případě instalace pouze regulátorů je nutná kontrola úbytku napětí v nejvzdálenějším světelném místě, a to nejlépe měřením. Napětí měřené na svorkovnici rozvodnice stožáru nesmí být u sodíkových výbojek menší než 180V a 190V u rtuťových výbojek v režimu stmívání. Určitá rezerva vychází z předpokladu, že k dalšímu úbytku napětí dochází na spojovacím vedení mezi svorkovnicí umístěnou v dolní části stožáru, přechodovými odpory a světelným zdrojem. Rovněž stávající tlumivky mohou způsobit v důsledku nedodržení svých parametrů větší úbytek než je dán normami.

Doporučuje se, aby i zde byl výkon rozváděčů asi o 10% vyšší než výkon osvětlovací soustavy, a to i v jednotlivých fázích. Z důvodu maximálního využití rozváděče, což je důležité kritérium při zjištění návratnosti investic, se doporučuje provést rozfázování výkonu v jednotlivých fázích a tím zrovnoměrnění odběru.

V elektrickém schématu se regulátor umísťuje za elektroměrem. Mechanicky se regulátor postaví zpravidla na stávající rozváděč a upevní.

Ve všech třech případech projektu instalace regulátoru se doporučuje po jeho instalaci měření poklesu světelného toku (postačí jedno měřené místo) a napětí v nejvzdálenějším světelném místě v režimu stmívání.

5.3.3 Zmenšení ztrát v elektrických rozvodech

Činné ztráty ve elektrických rozvodech můžeme obecně definovat vztahem:

$$\Delta P = k \cdot R \cdot I^2 = k \cdot \frac{\rho \cdot l}{S} \cdot I^2 \quad (5.1)$$

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 ($\rho = 1/33 \text{ } \Omega \cdot \text{mm}^2 \cdot \text{m}^{-1}$), 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 např. viz tab. 5.1 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).

5.4 Optimalizace ovládacího systému

Ovládací systém je ve své podstatě mozkem (centrální dispečink) a nervovým systémem (přenosové cesty základních povelů) celého zařízení VO. Musí zajistit spolehlivé zapínání a vypínání zařízení VO z jednotlivých zapínacích míst podle spínacího kalendáře VO, ovládání činnosti případných regulátorů a v dnešní době se od něj očekává i možnost zpětných informací o stavu zařízení VO (zapnuto – vypnuto, případně aktuální velikost odběru elektrické energie, která může signalizovat lokální výpadky ve větvích rozvodu VO) a v neposlední řadě by měl umožňovat okamžitý dálkový přenos důležitých informací funkčního charakteru (ztráta napájecího napětí, neoprávněný vstup do rozváděče apod.) a shromažďovat k hromadnému přenosu nejdůležitější provozní údaj - stav elektroměru a množství odebrané elektrické energie za stanovené období.

V současné době v naprosté většině splňuje ovládání pouze základní funkci - přenos impulsu mezi rozváděči nebo zajištění spínání vlastním vestavěným ovládacím prvkem (fotočidlo, spínací hodiny, přijímač HDO). Ovládání VO bývá zpravidla provedeno:

- samostatnými ovládacími kabely od hlavního zapínacího místa
- kaskádním zapojením (zapnuté VO po silovém rozvodu větve zapíná další rozváděč VO)
- systém HDO (kde to energetická síť umožňuje)
- časovými spínači (hodinami - méně vhodné, časté přestavování, velká tolerance časů)
- fotoelektrický spínač (nutné dobré seřízení, neumožňuje současné plošné sepnutí)

Řízení systému veřejného osvětlení vyžaduje pravidelné vyhodnocování nákladů na energii a údržbu, porovnávání osvětlení s projektovanými hodnotami a optimalizaci činností spojených s provozem a údržbou VO. Tyto činnosti vedoucí k energetické a tedy i provozní optimalizaci provozu nazýváme **energetickým managementem**.

V rámci energetického managementu se řeší energetická optimalizace provozu systému veřejného osvětlení. K energetické optimalizaci vedou tři cesty:

- Energetická optimalizace vlastní osvětlovací soustavy
- Regulace osvětlení nasazením regulačních systémů
- Optimalizace systému řízení a monitorování, tzn. aplikace tzv. telemanagementu

Telemanagement

Pod tímto pojmem v oblasti veřejného osvětlení rozumíme systémy dálkového spínání, řízení a monitorování provozních a poruchových stavů jednotlivých částí systému. Nejčastěji je telemanagement aplikován právě u rozváděčů veřejného osvětlení vybavených regulací, dále u standardních rozváděčů veřejného osvětlení a pomalu dochází k jeho aplikaci při monitorování jednotlivých svítidel systému veřejného osvětlení.

Existují v zásadě dva přístupy:

Centralizovaný systém

Tento systém obecně sestává z centrálního dispečera – centrálního PC, který umožňuje uživateli - provozovateli a správci veřejného osvětlení z centra – velínu provádět každodenní spínání a monitoring provozních a poruchových stavů a provádět jejich záznam, archivaci a analýzu.

Příkladem aplikace takového řešení je systém užívaný ve veřejném osvětlení města Brna. Ke komunikaci je využíváno radiomodemů RAKOM. Dispečer má možnost v každé chvíli provést ze svého PC:

- zapnutí a vypnutí rozváděče
- přepnutí regulačního rozváděče do stavu by-pass
- odečtení stavu elektroměru
- přepnutí režimu spínání

dále má možnost zjistit:

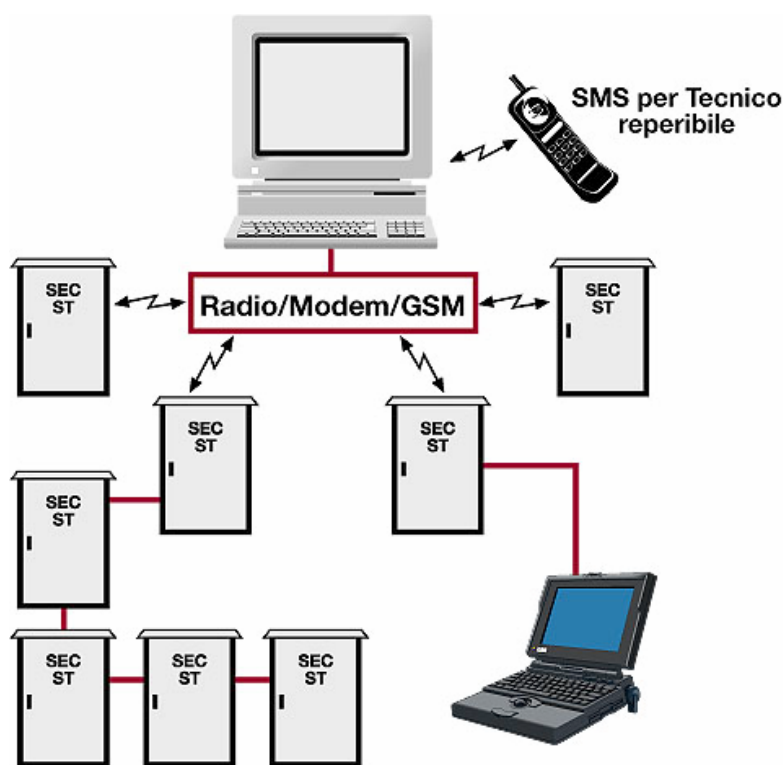
- informace o stavu zapnuto, vypnuto spínacích přístrojů
- informace o přítomnosti napětí na přívodu
- informaci o průchodu či neprůchodu proudu každou fází jednotlivého vývodu
- informaci o komunikaci radiomodemu
- informaci o průchodu proudu jednotlivým svítidlem
- informaci o oprávněném či neoprávněném vstupu do rozváděče apod.

Decentralizovaný systém

Tento systém je oproti předcházejícímu systému vytvořen tak, že více „intelligence“ je dislokováno přímo do rozváděčů veřejného osvětlení a tyto komunikují s centrem jen pokud je to nezbytně nutné. Příkladem takového systému je řešení použité v rozváděči REVERBERI.

Centrální jednotka je vybavena softwarem, který provádí řízení regulace, snímání a záznam elektrických parametrů jako je vstupní a výstupní napětí v každé fázi, proud v každé fázi. Dále provádí výpočet účinníku v každé fázi, výpočet odebíraného činného a jalového výkonu každé fáze. Dalšími záznamy je doba provozu, seznam alarmů apod. Tato centrální jednotka může komunikovat s centrem buď přímo přes kabelové propojení s PC nebo dálkově přes GSM modem. Komunikace se využívá jen pokud je to nezbytné jako např. při:

- hlášení poruchy
- modifikaci programového nastavení režimu regulace
- stažení záznamu dat



Obr. 5.14 Příklad decentralizovaného systému

Uvedený systém umožňuje komunikaci s jednotlivými svítidly. Tato komunikace je prováděna po silovém napájecím vedení. Monitoruje se napětí a proud světelného zdroje – výbojky, porucha kompenzačního kondenzátoru. Informace o napětí na výbojce může být využita k analýze poklesu světelného toku a s předstihem odhadnout dobu možné poruchy a tedy potřebnou dobu její výměny. Tím je zaručen vysoký stupeň provozuschopnosti celého systému osvětlení.

Uvedené systémy umožňují centralizovat informace do řídicího velínu a ve spolupráci s pasportem VO v digitální podobě průběžně evidovat veškeré činnosti a provádět statistická vyhodnocení za zvolené časové období.

Takové systémy jsou základem efektivní a systémové údržby, provozu a obnovy osvětlovacích systémů veřejného osvětlení.

Dnes je již možno konstatovat, že aplikace energetického managementu ve veřejném osvětlení prostřednictvím plynulé regulace s využitím telemanagementu je nejefektivnějším zdrojem financování obnovy celého systému veřejného osvětlení.

5.5 Ekonomické vyhodnocení

Provozní náklady na dobu trvání provozu za rok na osvětlovací soustavu VO sestávají ze tří složek dle vztahu:

$$N_C = N_i + N_E + N_p \quad (5.2)$$

N_C ...celkový náklad na provoz osvětlovací soustavy (Kč)

N_i ...roční odpisy včetně úrokové míry (Kč)

N_E ...náklad na elektrickou energii odebranou osvětlovací soustavou za rok (Kč)

N_p ...provozní náklad na osvětlovací soustavu za dobu ročního provozu (Kč)

Pro první složku, která je závislá na době trvání provozu platí vztah:

$$N_i = n_1 \cdot \left(\frac{\left(\frac{p_1}{100} \right) \cdot N_R + \left(\frac{p_2}{100} \right) \cdot N_{sv}}{n_2} \right) \quad (5.3)$$

n_1 ...celkový počet světelných zdrojů osvětlovací soustavy (ks)

N_R ...celkový inv. náklad na el. instalaci pro svítidlo včetně předřadníku (Kč)

N_{sv} ...celková cena svítidla včetně montáže (Kč)

n_2 ...počet světelných zdrojů ve svítidle (ks)

p_1 ...odpisové procento včetně úrok. míry pro rozvody a předřadné přístroje (%)

p_2 ...odpisové procento včetně úrokové míry pro svítidlo osvětlovací soustavy (%)

Druhá složka je tvořena náklady na spotřebovanou el. energii a je dána vztahem:

$$N_E = n_1 \cdot t_p \cdot P \cdot A \cdot 10^{-3} \quad (5.4)$$

t_p ...doba celkového trvání provozu osvětlovací soustavy (h)

P ...příkon světelného zdroje včetně předřadníku (W)

A ...průměrná cena elektrické energie (Kč.kWh⁻¹)

Při provedení stmívání se doba provozu dělí na dobu, kdy se stmívá t_{p1} a odebírá se snížený výkon P_1 a na dobu, kdy se stabilizuje napětí t_{p2} , při které je odebírán jmenovitý výkon P_n .

Ekonomický přínos ze stabilizace napětí se dá vyčíslit, když se určí náklady při stabilizaci, kdy se odebírá výkon P_n a pak se učí náklady bez stabilizace, když se odebírá výkon P_2 .

Třetí složka je tvořena náklady na provoz a údržbu svítidel. Je zde zahrnuta cena zdroje, jeho výměna a náklad na čištění svítidel. Platí zde vztah:

$$N_p = n_1 \cdot \left[t_p \cdot \left(\frac{N_{zd} + N_{vzd}}{T} \right) + \frac{R}{n_2} \right] \quad (5.5)$$

N_{zd} ...cena světelného zdroje (Kč)

N_{vzd} ...průměrná cena výměny světelného zdroje (Kč)

T ...život světelného zdroje (h)

R ...průměrný náklad na vyčištění 1 ks svítidla (Kč)

Úspora popřípadě ztráta na světelných zdrojích při přepětí se stanoví tak, že při stmívání se doba života T násobí koeficientem 1,25 a při přepětí se násobí koeficientem 0,75.

Doba návratnosti vynaložených investic na rekonstrukci osvětlovacích soustav pro VO se vypočte ze vztahu:

$$t_n = \frac{N}{N_r} \quad (5.6)$$

N ...vynaložená investice na rekonstrukci osvětlovací soustavy VO (Kč)

N_r ...roční úspory (Kč.rok⁻¹)

5.6 Energetický audit

5.6.1 Úvod

Energetickým auditem se rozumí kvalifikovaný soubor úkonů zaměřený na zhodnocení stavu energetických zařízení vedoucí k návrhu takových úprav, které povedou k dosažení úspor. Cílem energetického auditu je navrhnout a ekonomicky vyhodnotit nejvýhodnější variantu k zajištění optimální spotřeby energie.

Ze zákona č. 406/2000 Sb. o hospodaření s energií vyplývá, že organizační složky státu, krajů, obcí a příspěvkové organizace jsou povinny do konce roku 2003 si nechat vypracovat energetický audit na jimi provozovaná energetická hospodářství. Platí to pro objekty, které mají větší spotřebu energie (tepelné a elektrické) než 1500 GJ/rok. Mezi spotřebiče elektrické energie patří i osvětlovací soustavy vnitřního a veřejného osvětlení.

Do základních požadavků pro provádění energetického auditu patří:

- zhodnocení stávajícího stavu
- návrhy racionalizačních opatření
- odhad nákladů a úspor zavedením racionalizačních opatření

5.6.2 Zhodnocení stávajícího stavu

Doporučuje se následující postup:

vyplnění dotazníku, který obsahuje:

- základní statistické údaje, tzn. identifikace místa, vlastník, rok výstavby, technický popis
- specifikace svítidel a světelných zdrojů, jejich stáří, rozmístění svítidel
- přehled spotřeby elektrické energie pokud možno pro každý rozvaděč
- přehledy vynaložených nákladů na údržbu (výměna světelných zdrojů, čištění svítidel, náhradní díly)
- schéma zapojení (zapínací místa), situační výkresy
- revizní zprávy

vizuální prohlídka obsahuje:

- kontrola stavu rozvaděčů
- kontrola stavu svítidel
- kontrola geometrie osvětlovací soustavy
- zjištění druhů rozvaděčů
- kontrolní měření osvětlení ve vybraných místech
- kontrolní měření napětí v rozvaděčích ve všech fázích a jeho kolísání během dne, popřípadě týdne
- kontrolní měření napětí na koncích dlouhých vedení
- kontrolní měření proudu v rozvaděčích ve všech fázích

zpracování dokumentace sestává:

- vyhodnocení stavu osvětlovací soustavy, rozvaděčů atd.
- provedení kontrolních výpočtů osvětlení (osvětlenosti, výpočtů jasů, rovnoměrnosti a činitele zvýšení prahu rozlišitelnosti – srovnání s normami)
- vyhodnocení proudové nesymetrie, výpočty ztrát ve vedeních

5.6.3 Návrhy racionalizačních opatření

Mezi racionalizační opatření patří

- optimalizace osvětlovací soustavy (výměna svítidel, zdrojů, stožárů a elektroinstalace)
- symetrizace proudů v jednotlivých fázích ve všech rozvaděčích
- návrh regulace osvětlení spínáním (předřadníky s odbočkou), stmívání v době výrazně sníženého provozu na komunikacích a regulací napětí za normálního provozu na komunikacích za účelem zajištění jmenovitých parametrů osvětlení (jasů a osvětleností)
- optimalizace systému řízení a monitorování (dálkové spínání, dálkové řízení např. stmívání, monitorování provozních a poruchových stavů od rozvaděčů až po svítidla)

5.6.4 Odhad nákladů a úspor zavedením racionalizačních opatření

Do odhadu nákladů a úspor patří

- ekonomické vyhodnocení rekonstrukce osvětlovací soustavy
- ekonomické vyhodnocení návrhu regulace osvětlení a systému řízení a monitorování
- vyhodnocení úspor a návratnosti investic
- zhodnocení a srovnání stavu před a po zavedení racionalizačních opatření na základě zpracování statistik, které budou srovnávat počty světelných míst, zdrojovou strukturu podle použitých typů a podle jejich výkonů, příkony na jeden kilometr komunikace, příkony na jeden rozvaděč, příkony a náklady na jedno svítidlo.

Návrhy racionalizačních opatření a jejich vyhodnocení by se měly provést minimálně ve dvou variantách. Vyhodnocení úspor elektrické energie provést v kWh, korunách a procentech. Vyhodnocení úspor v provozu a údržbě provést v korunách a procentech. Závěrečná část by měla obsahovat výběr optimální varianty a celkové hodnocení auditu.

6. ZÁVĚR

Tato publikace seznamuje čtenáře ve svých úvodních kapitolách se základy světelné techniky, popisem zdrojů a svítidel a měla by posloužit jako studijní materiál těm, kteří se budou pokoušet pomocí různých racionálních opatření snížit energetickou náročnost osvětlovacích soustav veřejného osvětlení.

V dalších částech publikace se popisují soustavy VO, provoz a údržba, výpočtové metody, odpadová legislativa atd. Mezi nejdůležitější optimalizační opatření, která přinášejí přímo úspory el. energie patří inovace světelných zdrojů a svítidel a především regulace osvětlení. Způsoby, jak na to, a také možnosti zvyšování spolehlivosti osvětlovacích soustav pomocí řízení a monitorování, jsou popsány v závěru této publikace.

Cílem bylo stručnou formou naznačit směry, kterými lze optimalizovat provoz soustav veřejného osvětlení tak, aby bylo možno postupně snižovat náklady na provoz a to zejména platbu za spotřebovanou el. energii a údržbu, při současném zajištění nezbytných světelnotechnických požadavků nutných pro bezpečný provoz a k ochraně osob a majetku. Zavádění modernizovaných prvků by mělo kromě toho zvýšit spolehlivost provozu osvětlovacích soustav.

SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY A PODKLADŮ

- [1] Habel J. a kol., Světelná technika a osvětlování, FCC PUBLIC , Praha, 1995
- [2] Plch J., Světelná technika v praxi, IN – EL, s. r. o., Praha, 1999
- [3] Šefčíková M., Efektívne svetelné zdroje, Mercury - Smékal, Košice, 2001
- [4] Katalog firmy OSRAM, Světelné zdroje, 1998
- [5] Katalog firmy PHILIPS, Světelné zdroje, 1997
- [6] Katalog firmy SYLVANIA, Světelné zdroje, 1998
- [7] ČSN 36 0400, Vyd. norem, Praha
- [8] Sborník mezinárodní konference Ostrava – Světlo 1998, Ostrava, 1998
- [9] Sokanský K., Sborník Světlo 2001, Vysoké Tatry, 2001
- [10] Sokanský K., Sborník Světlo 2002, Brno, 2001
- [11] Sokanský K., Sborník Světlo 2000, Ostrava, 2000
- [12] Sokanský K., Sborník Světlo 1998, Ostrava, 1998
- [13] Sborník: Kurs osvětlovací techniky XXI, Ostrava, 2002
- [14] Sborník: Kurs osvětlovací techniky XX, Ostrava, 2001
- [15] Sborník: Kurs osvětlovací techniky XIX, Ostrava, 2001
- [16] Sborník: Kurs osvětlovací techniky XVIII, Ostrava, 1999
- [17] Manuál: Veřejné osvětlení pro města a obce, SEVEN, Praha, 2001
- [18] Voráček J., Analýza stavu a organizace řízení veř. osvětlení v Ostravě, Ostrava, 1996
- [19] Muchová A., Generel veřejného osvětlení statutárního města Ostravy, Ostrava, 2001
- [20] Sokanský K., Elektrické světlo a teplo, Ostrava, 1995

OBSAH

1. Úvod	3
2. Základy světelné techniky.....	4
2.1 Podstata světla, zrakový systém	4
2.1.1 Podstata světla	4
2.1.2 Zrakový systém, zrakové mechanismy.....	5
2.2 Základní světelnětechnické pojmy a veličiny	7
2.2.1 Přehled pojmů a veličin	7
2.2.2 Základní výpočetní vztahy a pojmy	10
2.2.3 Prostorové rozložení svítivosti	12
2.2.4 Osvětlenost (intenzita osvětlení) bodového zdroje	14
2.2.5 Světelně technické vlastnosti hmot.....	16
2.2.6 Barevné vlastnosti zdrojů a předmětů.....	16
2.3 Světelné zdroje ve veřejném osvětlení.....	17
2.3.1 Parametry světelných zdrojů.....	17
2.3.2 Teplotní zdroje.....	18
2.3.3 Výbojové světelné zdroje	20
2.3.4 Nové trendy v oblasti světelných zdrojů.....	36
2.4 Svítidla ve veřejném osvětlení.....	37
2.4.1 Úvod	37
2.4.2 Světelně technické parametry svítidel	37
2.4.3 Geometrické parametry	39
2.4.4 Konstrukční prvky svítidel	39
2.4.5 Třídění svítidel.....	41
2.4.6 Elektrické příslušenství svítidel VO	44
3. Veřejné osvětlení.....	46
3.1 Základní pojmy a členění.....	46
3.1.1 Členění osvětlení	46
3.1.2 Základní prvky veřejného osvětlení.....	46
3.1.3 Základní názvosloví.....	48
3.1.4 Veřejné osvětlení z hlediska ČSN norem	49
3.2 Návrh veřejného osvětlení.....	49
3.2.1 Základní požadavky.....	49
3.2.2 Zatřídění komunikace	49
3.2.3 Přiřazení stupně osvětlení	50
3.2.4 Oslnění a adaptační pásma.....	51
3.2.5 Geometrie osvětlovací soustavy, stožáry.....	52
3.2.6 Kontrolní výpočet dosahované úrovně a kvality osvětlení	52
3.2.7 Zpracování projektové dokumentace.....	53
3.3 Doporučení pro osvětlení důležitých a nebezpečných míst	53
3.3.1 Oblouky	53
3.3.2 Úrovňové křižovatky	53
3.3.3 Mimoúrovňové křižovatky	53
3.3.4 Železniční přejezdy.....	53
3.3.5 Osvětlení zastávek MHD.....	53
3.3.6 Přechody pro chodce	53
3.3.7 Veřejné parkoviště otevřené	54
3.3.8 Tunely, podjezdy, podchody, průchody a pasáže	54
3.3.9 Cesty pro cyklisty	54
3.3.10 Pěší zóny.....	55

3.4	Projekt veřejného osvětlení.....	57
3.4.1	Stavební zákon	57
3.4.2	Obsah dokumentace pro územní řízení	57
3.4.3	Obsah dokumentace pro stavební řízení	58
3.4.4	Praktické poznatky z projektování	60
3.5	Výklad evropské normy pro osvětlování	60
3.5.1	Klasifikace normy	60
3.5.2	Kategorizace a parametry osvětlení	62
3.5.3	Přiřazení parametrů osvětlení	66
4.	Provoz a údržba veřejného osvětlení	69
4.1	Provoz osvětlení	69
4.2	Pasport a generel veřejného osvětlení	69
4.3	Údržba veřejného osvětlení a její členění	71
4.3.1	Členění údržby	71
4.3.2	Běžná údržba	71
4.3.3	Preventivní údržba	72
4.3.4	Škody na zařízeních veřejného osvětlení	76
4.3.5	Revize veřejného osvětlení	78
4.4	Metody výpočtu osvětlenosti a jasů	79
4.4.1	Bodová metoda výpočtu horizontální intenzity osvětlení dle ČSN 36 0400	79
4.4.2	Bodová metoda výpočtu jasů povrchu vozovky dle ČSN 36 0400	80
4.5	Měření osvětlenosti a jasů ve VO	82
4.5.1	Úvod	82
4.5.2	Měření osvětlení na vozovce	82
4.5.3	Měření jasů na vozovce v praxi	83
4.5.4	Nepřímá metoda měření jasů povrchu vozovky dle ČSN 36 0400	84
4.6	Světelné znečištění.....	85
4.6.1	Úvod	85
4.6.2	Zákon o ovzduší	85
4.6.3	Mezinárodní doporučení	85
4.7	Udržovací činitel	88
4.8	Vztah VO k životnímu prostředí	90
4.8.1	Úvod	90
4.8.2	Nakládání s odpady VO	90
4.8.3	Charakteristika odpadů s obsahem rtuť	90
4.8.4	Zpětný odběr některých výrobků	91
5.	Možnosti úspor na veřejném osvětlení.....	92
5.1	Přehled racionalizačních opatření.....	92
5.2	Optimalizace v osvětlovacích systémech	92
5.2.1	Světelné zdroje.....	92
5.2.2	Svítilna a prostorové uspořádání.....	93
5.3	Optimalizace napájecího systému	95
5.3.1	Regulace napětí.....	95
5.3.2	Regulace osvětlení.....	103
5.3.3	Zmenšení ztrát v elektrických rozvodech.....	108
5.4	Optimalizace ovládacího systému	108
5.5	Ekonomické vyhodnocení.....	111

5.6	Energetický audit.....	112
5.6.1	Úvod	112
5.6.2	Zhodnocení stávajícího stavu	112
5.6.3	Návrhy racionalizačních opatření	113
5.6.4	Odhad nákladů a úspor zavedením racionalizačních opatření	113
6.	Závěr	115