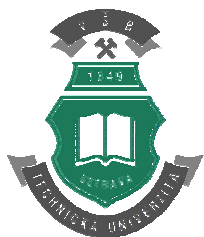


Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava  
Fakulta elektrotechniky a informatiky



# ***ÚSPORY ENERGIE V OSVĚTLOVÁNÍ PŘI HODNOCENÍ ENERGETICKÉ NÁROČNOSTI BUDOV***

Karel Sokanský a kolektiv

Tato příručka byla připravena v rámci programu EFEKT  
(Státní program na podporu úspor energie a využití obnovitelných  
zdrojů energie)



OSTRAVA 2009

*Publikace je určena pro poradenskou činnost a je zpracována v rámci Státního programu (program EFEKT) na podporu úspor energie a využití obnovitelných zdrojů energie pro rok 2009 – odstavec E2 – publikace, příručky a informační materiály v oblasti úspor energie.*

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

Ing. Tomáš Novák, Ph.D.

Doc. Ing. Dionýz Gašparovský, Ph.D.

Ing. Jaroslav Šnobl

Ing. Daniel Diviš

Poděkování. Rádi bychom touto cestou poděkovali České společnosti pro osvětlování Regionální skupina Ostrava za technickou výpomoc při zpracování této publikace.

# Obsah

1.	Význam interiérového osvětlení.....	5
1.1	Vliv osvětlení na člověka.....	5
1.2	Intenzita osvětlení a informační výkon.....	6
1.3	Současný stav v osvětlování.....	9
1.4	Aktuální problematická témata.....	9
1.5	Příklady moderních systémů pro osvětlování.....	9
1.6	Budoucí vize moderního osvětlování.....	9
1.7	Možnosti budoucích technologií.....	10
2.	Umělé osvětlení v budovách z pohledu zákonů a předpisů.....	11
2.1	Seznam základních norem ČSN pro osvětlování a audity.....	12
2.2.1	Parametry světelných zdrojů.....	13
3.	Prvky osvětlovacích soustav.....	17
3.1	Svítilna.....	17
3.1.1	Druhy a třídění svítidel.....	17
3.1.2	Základní parametry a vlastnosti svítidel.....	20
3.1.3	Morfologie svítidel.....	21
3.2	Konstrukční prvky svítidel.....	22
3.3	Předřadné přístroje.....	25
3.3.1	Parametry předřadných přístrojů.....	25
3.4	Světelné zdroje.....	29
3.4.1	Žárovky.....	30
3.4.2	Halogenové žárovky.....	30
3.4.3	Lineární zářivky.....	31
3.4.4	Kompaktní zářivky.....	33
3.4.5	Vysokotlaké rtuťové výbojky.....	34
3.4.6	Vysokotlaké sodíkové výbojky.....	34
3.4.7	Halogenidové výbojky.....	35
3.4.8	Světelné diody (LED).....	36
4.	Regulace osvětlení.....	37
4.1	Ovládání osvětlení.....	37
4.2	Regulace světelného toku světelných zdrojů.....	38
4.3	Automatická regulace s využitím senzorů.....	41
4.4	Inteligentní systémy řízení.....	41
5.	Údržba osvětlovacích soustav.....	43
5.1	Údržba a její činitelé.....	43
5.1.1	Ovlivňující činitele.....	44
5.1.2	Kontrolní intervaly a kategorie čistoty.....	45
5.2	Analýza znehodnocení.....	45
5.2.1	Činitel stárnutí světelného zdroje (LLMF).....	45
5.2.2	Činitel funkční spolehlivost světelného zdroje (LSF).....	46
5.2.3	Předřadné a řídicí obvody.....	48
5.2.4	Udržovací činitel svítidla (LMF).....	49
5.2.5	Udržovací činitel povrchů (RSMF).....	50
5.3	Udržovací činitel.....	51
5.3.1	Použití udržovacího činitele (MF).....	51
5.3.2	Projekt údržby.....	52
5.3.3	Udržitelný rozvoj na zemi ve vztahu k osvětlovací technice.....	53
5.3.4	Výpočet udržovacího činitele dle ČSN EN 12464-1.....	53

6. Ověřování kvalitativních a kvantitativních parametrů osvětlovacích soustav .....	55
6.1 Měření osvětlovacích soustav .....	55
6.1.1 Typy měření osvětlení .....	55
6.1.2 Přístrojové vybavení.....	55
6.1.3 Obecný postup měření.....	56
6.1.4 Měření umělého osvětlení .....	59
6.1.5 Autorizace osob k měření.....	63
7. Ověřování energetických požadavků na osvětlení.....	64
7.1 Výpočty spotřeby elektrické energie na osvětlení pomocí rychlé metody hodnocení .....	66
7.2 Výpočty spotřeby elektrické energie na osvětlení pomocí podrobné metody hodnocení .....	68
7.3 Rozdíly ve výstupech rychlé a podrobné metody na určování energetických požadavků na osvětlení .....	73
7.4 Software na výpočet spotřeby energie na osvětlení .....	73
7.5 Výpočty tepelných zisků z osvětlovacích soustav .....	74
7.6 Zvláštní charaktery budov .....	76
7.7 Protokol průkazu energetické náročnosti budovy .....	76
Literatura .....	79
Seznam příloh.....	81

# 1. Význam interiérového osvětlení

## 1.1 Vliv osvětlení na člověka

Na rozdíl od jiných živočichů je lidské vnímání převážně zrakové. V odborných literaturách se uvádí, že ze všech smyslových vjemů, kterými poznáváme a zkoumáme vnitřní prostředí tvoří zrakové vjemy něco mezi 75 až 80%, což jednoznačně definuje význam interiérového osvětlení.

Zrakové vnímání vnitřního prostředí ovlivňují především fyzikální vlastnosti světla a prostředí, fyziologie zrakového vjemu a psychologie vnímání. Lidé jsou navyklí, že hned po ránu světlo začne vyplňovat prostory kolem nich, jako je vyplňuje vzduch. Proto je nám bližší chápat osvětlení spíše jako určitý stav prostředí a je tedy obtížné si světlo představit jako látku či hmotu vhodnou ke ztvárnění vnímaného prostředí. To se často týká i tvůrců prostředí – architektů, jejichž myšlení je bližší svítidlo, které je konkrétní a hmotné, než obraz osvětleného prostředí.

Při návrhu osvětlení je třeba respektovat několik hledisek. Prvním a nejdůležitějším hlediskem je potřebné množství světla a volba intenzity osvětlení. S přibývajícím množstvím světla se zlepšuje viditelnost, což má krom jiného za následek podporu fyzické aktivity organismu. Důležitou skutečností v tomto směru je rozdíl mezi celkovým vnímáním místnosti a konkrétním místem, na které se oči dlouhodobě soustředí. Dle toho se rozlišuje osvětlení celkové a osvětlení místní.

Intenzita osvětlení působí přirozeně i na psychologii vnímání. Světlý prostor nám připadá prostornější a objemově větší. Podporuje celkový pocit bezpečí a někdy i radostnější atmosféru. Na druhou stranu může na některé lidi působit dojmem zbavení intimity. Temnější prostory zase někdy působí stísněně, ospale či depresivně. Samozřejmě záleží na více okolnostech a momentálním stavu osob.

Druhé hledisko se týká směrových vlastností osvětlení, světlo s určitým převládajícím směrem má schopnost vytvářet stíny a kontrasty jasně. Můžeme zmínit následující tři situace:

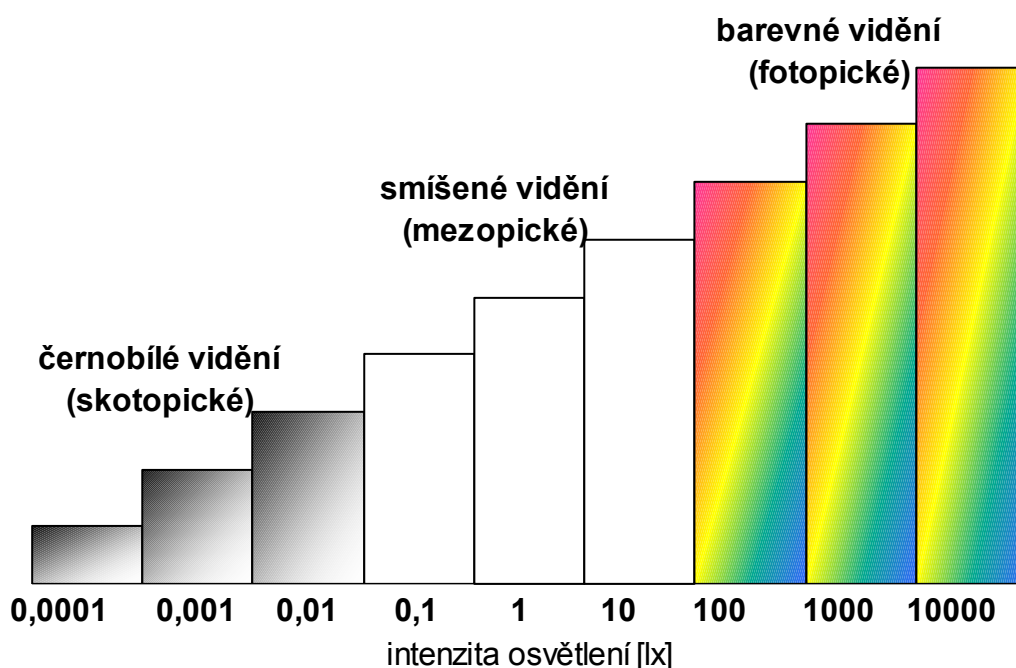
- První pozorujeme při převážně zatažené obloze, kdy je slunce zakryto mraky. Prostor je osvětleno rozptýleným světlem oblohy, kontrasty světla a stínu jsou malé, rovnoměrnost je velká. Obdobou u vnitřních prostor je rovnoměrnost u umělého osvětlení kanceláří či jiných pracovišť.
- Druhá situace je v prostředí s přímým slunečním světlem. Vznikají výraznější kontrasty světlých a tmavých míst. Ve vnitřním osvětlení se toto projevuje při menší rovnoměrnosti, kdy světlo je vyzářováno v paprscích určitými směry.
- Poslední situace nastává při poloze světelného zdroje těsně nad úrovní podlahy, což způsobuje vyšší jas a jejich kontrasty a také teplé zbarvení barevného tónu osvětlení. Takovou situaci můžeme přirovnat k osvětlení táborovým ohněm či krbem.

Třetím hlediskem jsou vlastnosti světelného spektra a jejich vliv na vzhled a vnímání barev. Při plném fotopickém vidění jsou vnímané barvy důležitější než kresba stínů. Při nižších hladinách osvětlení jsou barevné účinky světla jedním z hlavních podnětů pro psychologický účinek osvětlení. Ve vnitřních prostorech je jednou z nejdůležitějších věcí vzhled lidské pokožky, který je ve světle různých zdrojů odlišný.

Zajímavý je i význam osvětlení jako důležité složky smyslového vnímání, které působí na lidskou duši v podobě citových a estetických vjemů, ale i uměleckým dojmem. Nejčastější je jeho působení v podobě scénického osvětlení, využívaného také pro komerční účely. Účinek osvětlení v konečném výsledku závisí na duševním stavu a ladění člověka. [1]

## 1.2 Intenzita osvětlení a informační výkon

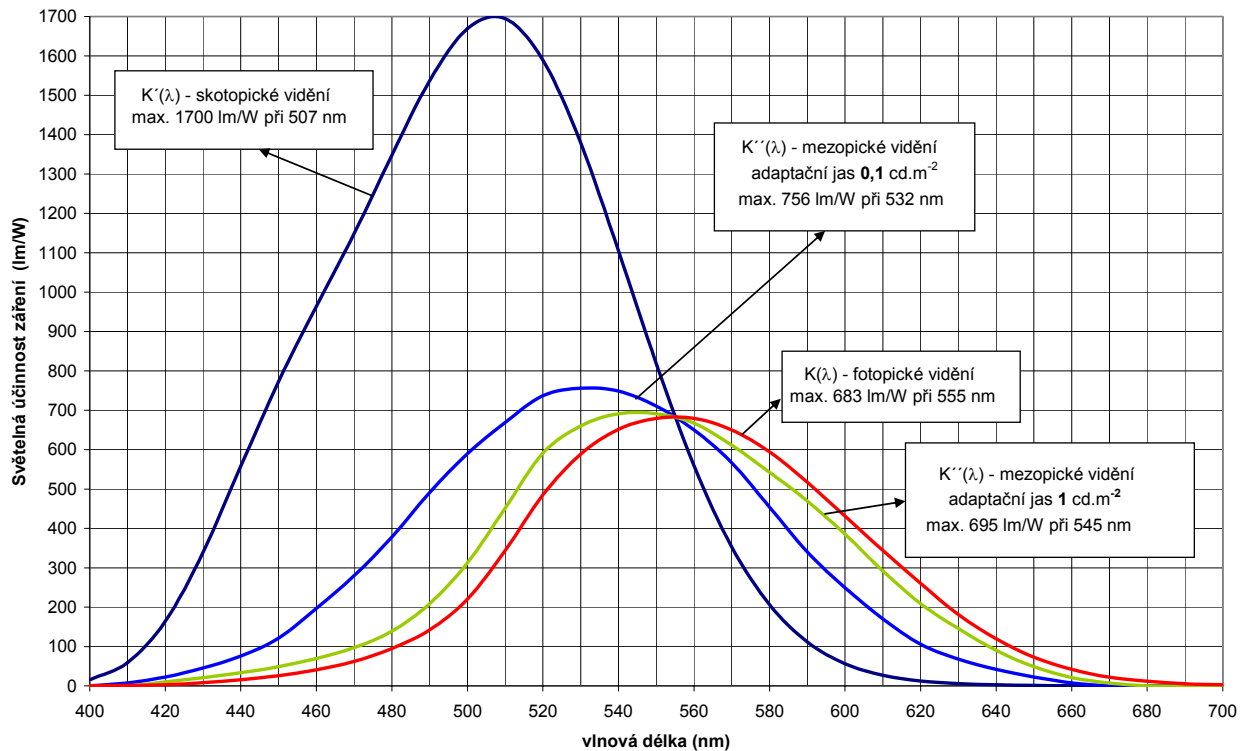
Zdravé lidské oko vnímá ve velmi širokém rozsahu hladin osvětlení. Barevný vjem nebo-li denní či fotopické vidění zprostředkovávají receptory oka zvané čípky. Černobílý obraz označený též jako noční či skotopické vidění snímají zase tyčinky. Působí-li oba receptory alespoň částečně současně mluvíme o smíšeném či mezopickém vidění.



Obr. 1.1 Rozsah vnímaných intenzit osvětlení

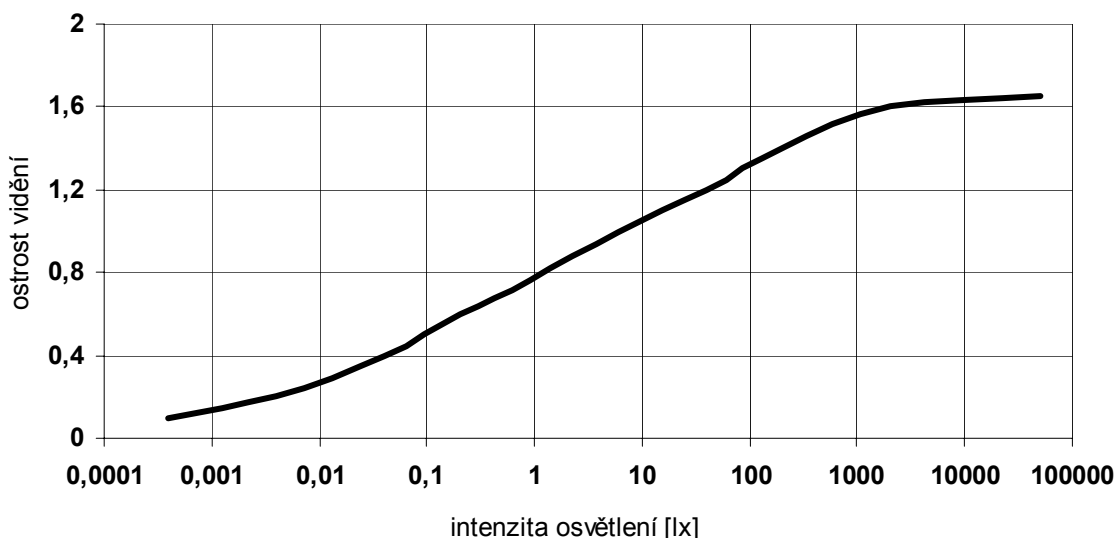
Vzhledem k individuálnímu charakteru citlivosti lidského zraku a nezbytnosti sjednocení světelně technických výpočtů definovala Mezinárodní komise pro osvětlování (CIE) tzv. normálního fotometrického pozorovatele. Případ fotopického vidění zmíněného pozorovatele charakterizuje křivka poměrné spektrální citlivosti  $V(\lambda)$  a skotopického vidění pak křivka  $V'(\lambda)$ . [2]

Dále byly stanoveny hodnoty fotometrických ekvivalentů  $K_{\max}$  pro fotopické vidění na hodnotu 683 lm/W a  $K'_{\max}$  pro skotopické vidění na hodnotu 1 700 lm/W. Průběh, který vznikne vynásobením  $V(\lambda)$  a hodnot fotometrických ekvivalentů je potom uveden na následujícím obrázku.



Obr. 1.2 Průběhy světelných účinností záření pro vidění fotopické (adaptační jas  $L_a=100 \text{ cd.m}^{-2}$ ), mezopické (adaptační jasy  $L_a=1 \text{ cd.m}^{-2}$ ,  $0,1 \text{ cd.m}^{-2}$ ) a skotopické (adaptační jas  $L_a=10^{-5} \text{ cd.m}^{-2}$ ) [4]

Schopnost zraku rozlišovat velmi malé objekty charakterizujeme ostrostí vidění. Prahových hodnot vidění je dosahováno při desetitisícinách luxů, asi 90% svých možností dosáhne oko při hodnotách nad 1000 lx, další zvyšování hladiny osvětlenosti již nepřináší výraznější zlepšení vidění.



Obr. 1.3 Závislost ostrosti vidění na intenzitě osvětlení bílým světlem 2850K

Barevné vidění zdravého oka začíná u hodnot větších než 1 lx, avšak většina lidí dokáže dostatečně rozlišit základní barevnost povrchů až nad hladinou 10 lx. Jelikož vertikálně

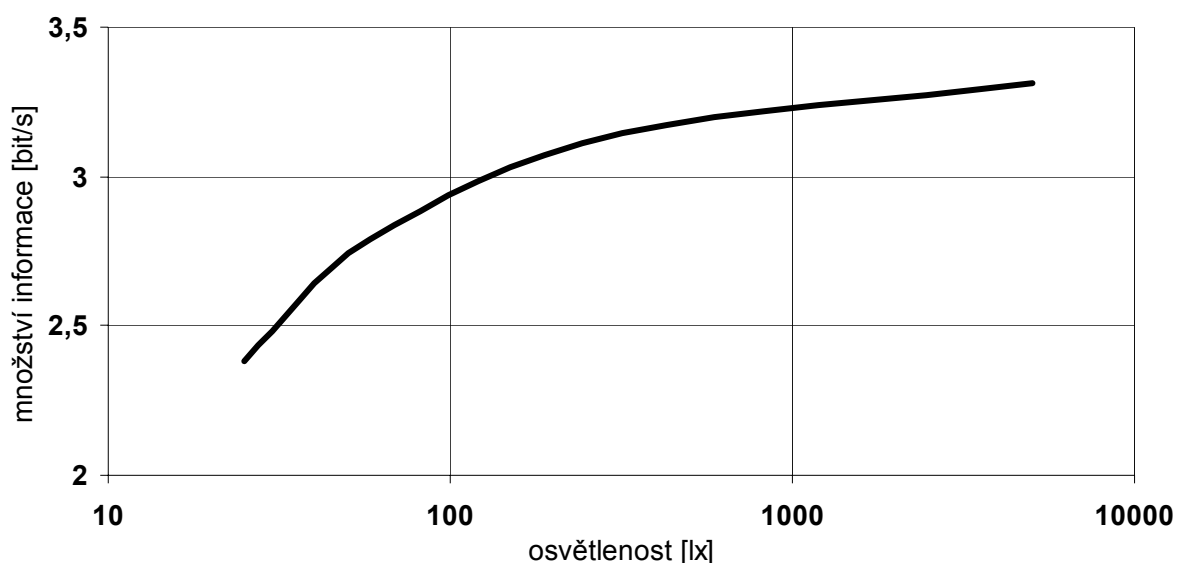
měřené hodnoty bývají asi polovinou hodnot horizontálních, je základní bezpečnou hodnotou umělého osvětlení právě horizontálních 20 lx. Od této hodnoty je odvozeno minimum doporučené stupnice intenzit osvětlení dle Mezinárodní komise pro osvětlování CIE.

Tab. 1.1 Doporučené rozsahy intenzit osvětlení podle CIE

intenzita osvětlení [lx]	druh činnosti v prostoru
20 - 30 - 50	základní jednoduchá zraková orientace v prostředí
50 - 75 - 100	jednoduchá orientace, kratší doba jednoduché činnosti
100 - 150 - 200	prostory, které nejsou dlouhodobě užívány pro pracovní účely, prostory obytné a společenské
200 - 300 - 500	zraková místa pro jednodušší, běžné pracovní úkoly
500 - 750 - 1000	zraková místa pro vizuálně náročnější a déletrvajících pracovní úkony
750 - 1000 - 1500	zrakově obtížné pracovní úkoly, velké nároky na přesnost
1000 - 1500 - 2000	zvláště náročné zrakové úkoly
více než 2000	velmi náročné zrakové úkoly

Doporučené intenzity osvětlení lze obecně rozdělit do tří intervalů. V prvním jsou hodnoty 20 až 200 lx, které jsou předepisovány pro celkové osvětlení společenských a obytných prostor. Druhý interval je od 200 do 2000 lx, těmito hodnotami se osvětlují pracovní prostory pro dlouhodobou zrakovou činnost. Hodnoty nad 2000 lx jsou používány pro specializovaná pracoviště (např. místní osvětlení operačních sálů).

Množství informace získané zrakem a přenášené do mozku člověka je možno charakterizovat informačním výkonem. Informační výkon stoupá se zvyšující se osvětleností a jasy pozorovaných objektů, ale jeho nárůst je limitován maximální přenosovou kapacitou informačního kanálu. Na nárůst informačního, resp. zrakového výkonu má proto podstatně větší vliv zvýšení osvětlenosti v oblasti relativně nízkých hladin (50 lx), než zvyšování poměrně vysokých osvětleností v oblasti nad 500 lx. Tyto skutečnosti je třeba mít na zřeteli při navrhování jak denního, tak umělého osvětlení. [2]



Obr. 1.4 Závislost množství přenášené informace na osvětlenosti



### 1.3 Současný stav v osvětlování

Lze charakterizovat:

- Rozdílný přístup při řešení osvětlení interiérů a exteriérů.
- Výrazná pomoc výpočetních programů při návrhu nových soustav projektanty.
- Nové harmonizované normy pro osvětlení (např. ČSN EN 12 464-1: Osvětlování vnitřních prostorů, která nahradila ČSN 36 0450).
- Častější přítomnost inteligentních elektroinstalačních prvků. [5]

### 1.4 Aktuální problematická témata

Patří jsem především:

- ekonomika provozu osvětlovacích soustav,
- vliv světla na člověka a přírodu, ekologizace osvětlení, energetické audity budov,
- biorytmy, rušivé světlo,
- inteligentní řízení osvětlovacích soustav,
- počítačová podpora výpočtů a simulací,
- nejednotné elektronické formáty, stále existující zjednodušení ve výpočtech,
- dosud oficiálně nepřijaté metody měření – digitální fotografie. [5]

### 1.5 Příklady moderních systémů pro osvětlování

Lze považovat:

- zohlednění biorytmů: Philips Dynamic Lighting,
- nová technologie směřování světla: Mirrortec, ELDAKON,
- nové světelné zdroje, LED technologie,
- inteligentní elektroinstalace: DALI, KNX, LITENET,
- využití denního světla – světlovody,
- materiálová základna – vysoce kvalitní odrazné materiály (MIRO, vícevrstvé leštěné plechy s vysokou odrazností),
- kvalitní simulační a vizualizační nástroje. [5]

### 1.6 Budoucí vize moderního osvětlování

Patří jsem:

- postupný ústup klasických žárovek, náhrada luminiscenčními zdroji (CFL, LED),
- zdokonalení technologií LED, HID,
- nové technologie výbojových a plasmových zdrojů jako např. LIFI™ (Luxim Corp.) - bezelektrodové zdroje,
- vyšší digitalizace elektroinstalací (DALI, KNX, LITENET, apod.),
- dynamické osvětlení jako běžná součást instalace (Philips Dynamic Lighting, Zumtobel EMOTION),
- svítidla s optikou „na přání“ - široká variabilita křivek svítivosti,

- přesné směrování světla novými technologiemi (Mikroprisma, Mirrortec, světlovody apod.),
- využití denního světla, optické rastry, duté světlovody,
- projekční systémy vytvářející působivý interiér. [5]

## 1.7 Možnosti budoucích technologií

Lze předpokládat:

- Teplotní zdroje vyčerpaly svůj technologický potenciál a jsou na ústupu. Díky nízké ceně lze očekávat, že budou stále poptávány zejména v rezidenčním sektoru.
- Nelze očekávat další významný růst účinnosti zářivek, jak lineárních, tak kompaktních.
- Technologicky se budou vylepšovat výbojové zdroje, zejména halogenidové výbojky.
- Velký potenciál skrývají polovodičové technologie, tj. LED.
- Velký význam bude mít i využití denního světla a obecně obnovitelných energií – nízkoenergetické a pasivní domy.
- Využití znalostních technologií v projektování, managementu a řízení osvětlení (znalostní a expertní systémy). [5]

## 2. Umělé osvětlení v budovách z pohledu zákonů a předpisů

V současnosti je umělé osvětlení v budovách zajišťováno pomocí elektřiny. Podíl spotřeby elektrické energie (dodané spotřebitelům) pro umělé osvětlení je v evropských zemích mezi 10 až 14 % a je předpoklad, že s rozšiřováním využíváním kvalitnějších a efektivnějších zdrojů světla a svítidel se bude v dlouhodobém výhledu mírně snižovat. V ČR je podíl spotřeby elektrické energie (dodané spotřebitelům) pro umělé osvětlení cca 11 %. V USA se tento podíl blíží k hodnotě 20%.

Průměrná roční spotřeba elektrické energie v ČR za rok 2009 byla 62 TWh. To znamená, že roční spotřeba elektrické energie v ČR na světlo je více než 6,5 TWh. Průměrná roční spotřeba elektrické energie na jednoho obyvatele (v roce 2000) byla:

- 1000 kWh na jednoho obyvatele v Evropě,
- 550 kWh v ČR.

Z této skutečnosti vyplývá, že spotřeba energie na umělé osvětlení se výrazně promítá do celkové spotřeby elektrické energie. Tento stav se hlavně projevuje v době energetický špiček a také v zimním období, kdy se umělého osvětlení využívá daleko častěji než v období letních měsíců. Potvrzují to i výsledky odborných šetření a průzkumu Státní energetické inspekce, podle níž se umělé osvětlení může na maximu elektrizační soustavy ČR podílet i více než 20 %.

I z tohoto důvodu je nezbytné neustále narůstající kvantitativní a kvalitativní požadavky na umělé osvětlení řešit s maximální hospodárností při respektování hlediska minimalizace energetické náročnosti. [16]

## 2.1 Seznam základních norem ČSN pro osvětlování a audity

Tab. 2.1 Seznam základních norem ČSN pro osvětlování [9]

Číslo normy	Název	Schválena	Účinnost	Poznámka
ČSN EN 12665 (360001)	Světlo a osvětlení – Základní termíny a kritéria pro stanovení požadavků na osvětlení	2003-04	2003-05-01	
ČSN 36 0010	Měření světla. Kmenová norma	1965-02-02	1965-10-01	
ČSN 36 0010 Změna Z1	Měření světla. Kmenová norma	1996-08-01	1996-09-01	
ČSN 36 0011-1	Měření osvětlení vnitřních prostorů – Část 1: Základní ustanovení	2006-03-01	2006-04-01	
ČSN 36 0011-2	Měření osvětlení vnitřních prostorů – Část 2: Měření denního osvětlení	2006-03-01	2006-04-01	
ČSN 36 0011-3	Měření osvětlení vnitřních prostorů – Část 3: Měření umělého osvětlení	2006-03-01	2006-04-01	
ČSN 36 0020	Sdružené osvětlení	2007-02-01	2007-03-01	
ČSN 36 0050-1	Osvětlení v podzemí dolů. Světelně technické základy navrhování. Část 1: Všeobecné požadavky	1996-07-01	1996-08-01	
ČSN 36 0050-2	Osvětlení v podzemí dolů. Světelně technické základy navrhování. Část 2: Poruby se štítovou výztuží	1996-07	1996-08-01	
ČSN 36 0050-3	Osvětlení v podzemí dolů. Světelně technické základy navrhování. Část 3: Oblast přechodu porub/chodba	1996-07	1996-08-01	
ČSN 36 0051	Osvětlování povrchových dolů pro těžbu nerostných surovin	1989-01-01	1989-02-01	zrušena 2008-07-31
ČSN 36 0061	Osvětlování železničních prostranství	1991-04-05	1992-03-01	zrušena 2008-07-31
ČSN EN 12464-1 (36 0450)	Světlo a osvětlení – Osvětlení pracovních prostorů – Část 1: Vnitřní pracovní prostory	2004-03	2004-04-01	
ČSN EN 12464-1 Změna Z1 (36 0450)	Světlo a osvětlení – Osvětlení pracovních prostorů – Část 1: Vnitřní pracovní prostory	2005-10	2005-11	
ČSN EN 12464-2 (36 0450)	Světlo a osvětlení – Osvětlení pracovních prostorů – Část 2: Venkovní pracovní prostory	2008-07	2008-08	
TNI 36 0450 (36 0450)	Rušivé oslnění při osvětlení vnitřních prostorů	2004-09	2004-10-01	
TNI 36 0451 (36 0451)	Údržba vnitřních osvětlovacích soustav	2006-07-01	2006-08-01	
ČSN EN 1837 (36 0453)	Bezpečnost strojních zařízení – Integrované osvětlení strojů	2000-03	2000-04-01	<sup>1)</sup>
ČSN EN 1838 (36 0453)	Světlo a osvětlení – Nouzové osvětlení	2000-09	2000-10-01	
ČSN EN 12193 (36 0454)	Světlo a osvětlení – Osvětlení sportovišť	2000-07	2000-08-01	<sup>2)</sup>
ČSN CEN/TR 13201-1 (36 0455)	Osvětlení pozemních komunikací – Část 1: Výběr tříd osvětlení	2007-03	2007-04	
ČSN EN 13201-2 (36 0455)	Osvětlení pozemních komunikací – Část 2: Požadavky	2005-05-01	2005-06-01	
ČSN EN 13201-2 Změna Z1 (36 0455)	Osvětlení pozemních komunikací – Část 2: Požadavky	2007-03-01	2007-04-01	
ČSN EN 13201-3 (36 0455)	Osvětlení pozemních komunikací – Část 3: Výpočet	2005-05-01	2005-06-01	
ČSN EN 13201-3, Změna Z1 (36 0455)	Osvětlení pozemních komunikací – Část 3: Výpočet	2007-03-01	2007-04-01	
ČSN EN 13201-4 (36 0455)	Osvětlení pozemních komunikací – Část 4: Metody měření	2005-05-01	2005-06-01	
ČSN EN 13201-4 Změna Z1 (36 0455)	Osvětlení pozemních komunikací – Část 4: Metody měření	2007-03-01	2007-04-01	
ČSN 73 0580-1	Denní osvětlení budov – Část 1: Základní požadavky	2007-06	2007-07-01	
ČSN 73 0580-2	Denní osvětlení budov. Část 2: Denní osvětlení obytných budov	2007-06	2007-07-01	
ČSN 73 0580-3	Denní osvětlení budov. Část 3: Denní osvětlení škol	1994-09	1994-10-01	Z1 1996-12 Z2 1999-10
ČSN 73 0580-4	Denní osvětlení budov. Část 4: Denní osvětlení průmyslových budov	1994-09	1994-10-01	Z1 1996-12 Z2 1999-10
ČSN 73 4301	Obytné budovy	2004-06	2004-07-01	Z1 2005-07
ČSN EN 15193 (73 0323)	Energetická náročnost budov – Energetické požadavky na osvětlení	2008-06	2008-07-01	

Problematika auditů se řeší hlavně v těchto následujících dokumentech:

- ČSN EN 15193 (TNI 73 0327) Energetická náročnost budov – Energetické požadavky na osvětlení
  - Tato norma byla navržena pro zavedení dohod a postupů pro stanovení energetických požadavků na osvětlení v budovách. Též poskytuje vodítko k zavedení národních limitů spotřeby energie pro osvětlení odvozených z referenčních schémat. Požadavky této normy vycházejí ze směrnice EC pro spotřebu energie v budovách č. 2002/91/EC. Tuto normu zásadně nelze použít při vypracování návrhu umělého osvětlení v objektech. [10]

- Specifikuje metodiku výpočtu pro vyhodnocování množství energie používané pro osvětlení v budovách a poskytuje číselný ukazatel pro požadavky na energii pro osvětlení používaný pro účely certifikace. Tato Evropská norma může být použita pro stávající budovy a pro návrh nových nebo renovovaných budov. Poskytuje také referenční schémata k založení plánování energie určené k použití pro osvětlení.
  - Tato Evropská norma také poskytuje metodologii pro výpočet okamžitého využití energie pro osvětlení pro stanovení celkové spotřeby energie budovy. Parazitní příkony nezahrnuté do svítidel jsou vyloučeny.
  - Osvětlení a jeho kvalitativní požadavky se liší podle typu a využití prostoru. Se zvyšujícími se kvalitativními požadavky na osvětlení se zvyšuje i energetická náročnost osvětlení. Proto, aby bylo možné porovnat energetické požadavky na osvětlení i pro různé kvalitativní nároky je v normě ČSN EN 15193 osvětlení rozděleno do třech kvalitativních tříd. Při hodnocení energetické náročnosti objektu je třeba k hodnoceným částem budovy nebo jednotlivým místnostem přiřadit kvalitativní třídu osvětlení.
- *Vyhláška 148/2007 o energetické náročnosti budov*  
Tato vyhláška ze dne 18. června 2007 stanovuje:
    - požadavky na energetickou náročnost budov, porovnávací ukazatele a výpočtovou metodu stanovení energetické náročnosti budov,
    - obsah průkazu energetické náročnosti budov a způsob jeho zpracování včetně využití již zpracovaných energetických auditů,
    - rozsah přezkušování osob z podrobností vypracování energetického průkazu budov.

## 2.2 Požadavky na osvětlovací soustavy [7]

### 2.2.1 Parametry světelných zdrojů

Světelné zdroje jsou základním prvkem osvětlovacích soustav. Z umělých zdrojů světla mají největší význam zdroje napájené elektrickou energií, tedy elektrické světelné zdroje. Od správné volby světelného zdroje nejvíce závisí, jak hospodárná bude celá osvětlovací soustava.

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

- V *teplotních* světelných zdrojích dochází průchodem elektrického proudu k zahřátí vodivé látky (kovu) na vysokou teplotu a tato látka vysílá v důsledku tepelného pohybu optické záření.
- *Výbojové* světelné zdroje jsou založené na principu elektrických výbojů v plynech a parách různých kovů a využívají přeměnu elektrické energie na kinetickou energii elektronů, která se při srážkách s atomy plynů mění na optické záření.

- *Luminiscenční* světelné zdroje pracují na principu vyzařování energie v podobě fotonů při samovolném návratu elektronů z vybuzeného stavu do základního energetického stavu.

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

### Světelný tok $\Phi$ (lm)

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

### Měrný výkon $\eta$ (lm/W)

Představuje vyjádření účinnosti světelného zdroje, tedy definuje vztah mezi „výkonem“ a příkonem. Tato veličina se však neudává v procentech, protože výstupní veličina (výkon) ve světelné technice nemá stejný rozměr jako vstupní veličina. Elektrický výkon  $P$  (W) se přemění na světelný tok  $\Phi$  (lm), přičemž se zohledňuje to, jak oko vnímá světelné záření. Teoretické maximum je 683 lm/W, nejúčinnější světelné zdroje dosahují nejvíce okolo 180 lm/W. Přehled měrných výkonů různých typů světelných zdrojů je v Tab. 2.2.1.

$$\eta = \frac{\Phi}{P} \quad (2.2.1)$$

kde,  $\eta$  – měrný výkon;  
 $\Phi$  – světelný tok;  
 $P$  – elektrický příkon.

Tab. 2.2.1 Přehled měrných výkonů světelných zdrojů

Druh světelného zdroje	Příkon (W)	Měrný výkon (lm/W)
Obyčejná žárovka CLASSIC čirá	15 – 200	6 – 15
Halogenová žárovka 12V STANDARD	10 – 50	14 – 18
Halogenová žárovka 12V IRC	25 – 65	20 – 26
Kompaktní zářivka	5 – 30	48 – 63
Lineární zářivka T8 STANDARD	10 – 58	65 – 90
Lineární zářivka T5 HE	14 – 35	78 – 94
Lineární zářivka T5 HO	24 – 80	67 – 77
Rtuťová výbojka	50 – 1000	36 – 57
Vysokotlaká sodíková výbojka	50 – 1000	88 – 130
Halogenidová výbojka s křemenným hořákem	70 – 2000	78 – 100
Halogenidová výbojka s keramickým hořákem	35 – 250	94 – 103
Nízkotlaká sodíková výbojka	18 – 180	100 – 178
Světelné diody	do 10 W	do 100

## Teplota chromatičnosti $T_C$ (K)

Používáme ji k vystižení barevných vlastností světla; u teplotních světelných zdrojů (žárovky) odpovídá teplotě vlákna, u výbojových světelných zdrojů se používá pojem *náhradní teplota chromatičnosti* – ta odpovídá ekvivalentnímu teplotnímu zdroji s podobným spektrálním složením, jaký má daný výbojový světelný zdroj. Přehled teplot chromatičnosti pro různé typy světelných zdrojů je v Tab. 2.2.2.

Tab. 2.2.2 Teplota chromatičnosti a náhradní teplota chromatičnosti různých zdrojů světla

Druh světelného zdroje	$T_C$ (K)
Zářivka SKYWHITE	8 000
Zářivka DAYLIGHT denní bílá	6 000 – 6 500
Jasná obloha	6 500
Slunce v létě v poledne	5 500
Zářivka COOLWHITE bílá	3 000
Slunce při západu	3 500 – 4 000
Žárovka, žárovka teple bílá	2 700
Plamen svíčky	1 800

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

<b>teple bílá</b>	< 3 300 K
<b>bílá</b>	3 300 – 5 000 K
<b>denní</b>	> 5 000 K

I když světelné zdroje mohou mít stejnou barvu světla, mohou vykazovat rozličné podání barev, které závisí od spektrálního složení světla těchto zdrojů. Tyto vlastnosti popisujeme pomocí stupně nebo indexu podání barev.

## Index podání barev $R_a$ [-]

Hodnota indexu podání barev určuje, do jaké míry je spektrum záření daného světelného zdroje schopné věrně zobrazit (podat) barvy. Index  $R_a$  se získává průměrováním indexů podání určitých zkušebních barev. Čím je hodnota indexu vyšší, tím lepší je podání barev. Nejvyšší hodnotu dosahuje obyčejná žárovka ( $R_a = 100$ ), nejnižší dosahují zdroje monochromatického záření, jako např. nízkotlaková sodíková výbojka ( $R_a = 0$ ). V závislosti na indexu podání barev rozlišujeme několik stupňů podání barev podle Tab. 2.2.3.

Tab. 2.2.3 Vzájemný vztah stupně a indexu podání barev

Stupeň barevného podání	Index barevného podání $R_a$ [-]
1A	> 90
1B	80 – 90
2	60 – 80
3	40 – 60
4	20 – 40

## Životnost světelných zdrojů

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

*Průměrná životnost* – průměr životností jednotlivých světelných zdrojů provozovaných za předem stanovených (standardních) podmínek. Tato životnost je daná časem, za který bude svítit přesně polovina ze sledovaného počtu světelných zdrojů, tedy míra výpadků dosáhne 50 %. Během trvání postupně dochází k úbytku funkčních světelných zdrojů, což vyjadřuje tzv. křivka mortality (úmrtnosti).

*Udržovaná životnost* se definuje vzhledem k postupnému poklesu světelného toku zdrojů během života. Konec života se dosáhne tehdy, když světelný tok zdroje bude na úrovni 80 % prvopočáteční hodnoty světelného toku.

Přehled orientačních hodnot životnosti pro různé typy světelných zdrojů je v Tab. 2.2.4.

Tab. 2.2.4 Orientační hodnoty životnosti světelných zdrojů

<b>Druh světelného zdroje</b>	<b>Životnost [h]</b>
Obyčejné žárovky	1 000
Halogenové žárovky	3 000
Kompaktní žárovky	6 000 – 15 000
Lineární zářivky	18 000
Vysokotlaké rtuťové výbojky	6 000
Vysokotlaké sodíkové výbojky	20 000
Nízkotlaké sodíkové výbojky	6 000
Halogenidové výbojky	10 000
Indukční výbojky	60 000
Světelné diody	100 000



### 3. Prvky osvětlovacích soustav

#### 3.1 Svítidla [7]

##### 3.1.1 Druhy a třídění svítidel

Svítidla se klasifikují podle různých vnějších i vnitřních znaků. Základní dělení svítidel je podle místa použití na *vnitřní* a *venkovní*. Velmi důležitým hlediskem je použitý světelný zdroj, rozlišujeme proto svítidla *žárovková*, *zářivková* a *výbojková*.

Podle světelnotechnické funkce se svítidla třídí podle rozložení světelného toku (Tab. 3.1.1) nebo podle křivek svítivosti (Obr. 3.1.5).

Tab. 3.1.1 Klasifikace svítidel podle rozložení světelného toku

Třída rozložení světelného toku	Název	$(\Phi_d / \Phi) * 100$
I	Přímé	80 - 100 %
II	Převážně přímé	60 - 80 %
III	Smíšené	40 - 60 %
IV	Převážně nepřímé	20 - 40 %
V	Nepřímé	0 - 20 %

Poznámka:

$(\Phi_d / \Phi) * 100$  - podíl světelného toku vyzařovaného do dolního poloprostoru k celkovému světelnému toku vyzařovaného svítidlem

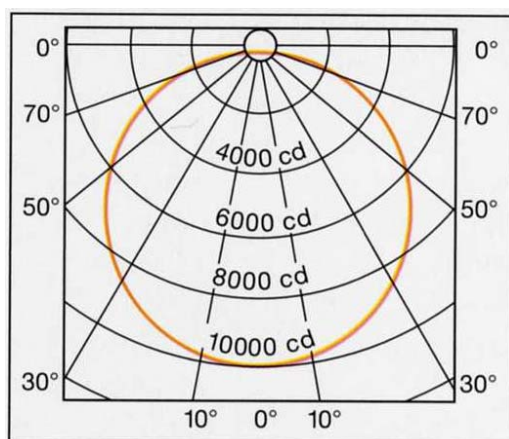
#### Svítivost $I$ [cd]

Svítivost představuje velikost světelného toku  $\Phi$  (lm) vyzářeného do daného orientovaného prostorového úhlu  $\Omega$  (sr). Když je tento úhel velmi malý, mluvíme o svítivosti „v daném směru“. Pro svítidla se udávají tzv. *křivky svítivosti*, což jsou křivky svítivosti v jednotlivých směrech. Svítivost se vypočítá následovně:

$$I = \frac{\Phi}{\Omega} \quad (3.1.1)$$

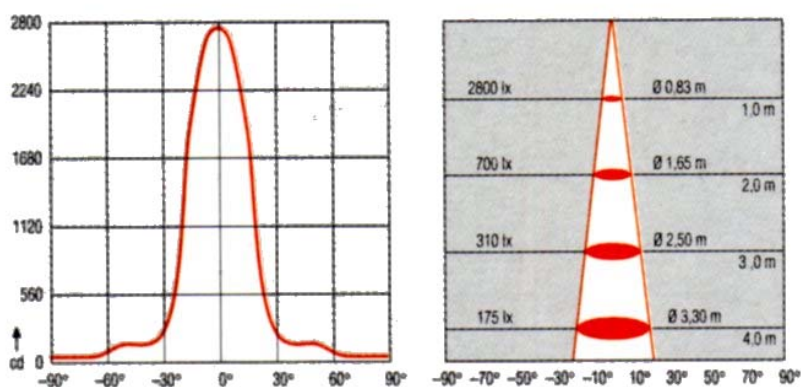
kde,  $I$  – svítivost;  
 $\Phi$  – světelný tok;  
 $\Omega$  – prostorový úhel.

Křivky svítivosti se dají najít v katalogích svítidel. Poskytují názornou představu o způsobu šíření světelného toku v prostoru. Z křivek svítivosti se dá vyčíst například úhel clonění, směr maximální svítivosti apod. Třeba však vědět, že křivky svítivosti udávané v katalogu jsou prepočítané na 1000 lm, aby se křivky různých svítidel s různými světelnými zdroji daly navzájem porovnat. Když chceme zjistit skutečnou svítivost s použitím konkrétního světelného zdroje, musíme znát jeho světelný tok. Skutečná svítivost se bude potom rovnat  $I * \Phi / 1000$ .



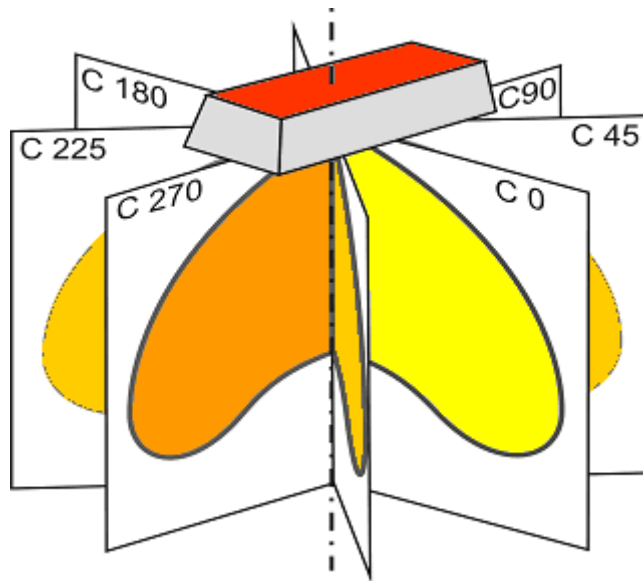
Obr. 3.1.1 Křivka svítivosti v polárních souřadnicích

Existuje několik typů křivek svítivosti. Pro světlemety a úzkozářiče by křivka svítivosti v polárních souřadnicích (Obr. 3.1.1) neumožňovala dobrý odečet, proto se používá křivka v pravouhlých souřadnicích (Obr. 3.1.2). V některých případech se udává i diagram kuželového svazku. Z tohoto diagramu se dá odečíst úhel vyzařování, velikost stopy v různých vzdálenostech, průměrná osvětlenost dané stopy.

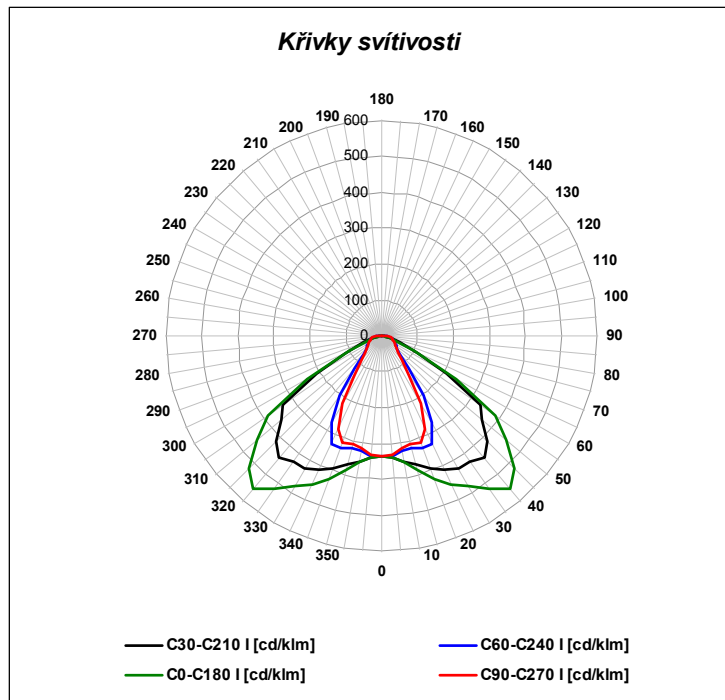


Obr. 3.1.2 Křivka svítivosti v pravouhlých kartézských souřadnicích a diagram kuželového svazku

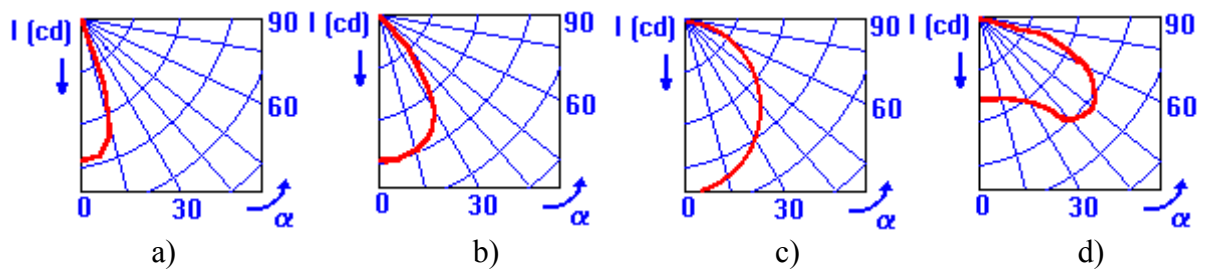
Pro rotačně nesymetrická svítidla potřebujeme několik křivek svítivosti, aspoň dvě. Na Obr. 3.1.3 je znázorněná soustava měřících rovin C, která se používá nejčastěji. Z těchto rovin se pro znázornění křivek svítivosti přímkových – řekněme zářivkových svítidel, používají roviny C0-180 a C90-270. Jedna z těchto rovin obsahuje křivku svítivosti v příčném řezu svítidla, tedy rovině kolmé na osu svítidla, druhá rovina je s touto osou rovnoběžná. Příklad některých křivek svítivosti v různých měřících rovinách znázorněných na jednom diagramu je na Obr. 3.1.4.

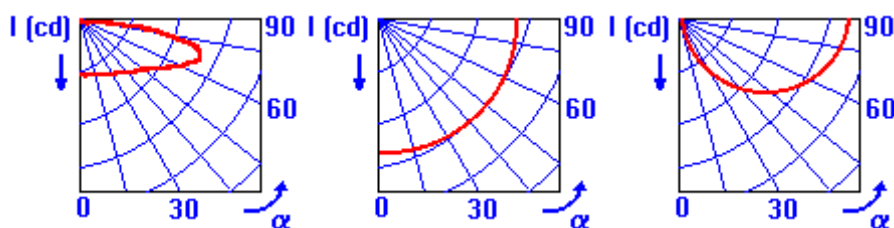


Obr. 3.1.3 Soustava měřících rovin C



Obr. 3.1.4 Soustava C rovin znázorněná v jednom diagramu





Obr. 3.1.5 Typické tvary křivek svítivosti

a) soustředěná, b) hluboká, c) kosinusová, d) pološiroká, e) široká, f) rovnoměrná, g) sinusová

Jiným hlediskem pro klasifikaci svítidel je způsob montáže.

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

### 3.1.2 Základní parametry a vlastnosti svítidel

Mezi základní světelnotechnické parametry svítidel patří křivky svítivosti, jasové diagramy, případně jiné podobné diagramy; podrobněji byly uvedené v předcházející kapitole. Základní elektrické parametry a vlastnosti jsou vyjádřené různými nápisy, symboly a označeními, které se dají najít v katalogích i přímo na svítidlech. Tyto nás zpravidla informují o:

- zkušebnách,
- ochraně proti nebezpečnému dotyku živých i neživých částí,
- ochraně proti vniknutí cizích těles, prachu a vlhkosti,
- odolnosti proti nárazu,
- ochraně proti hořlavosti.

Z hlediska elektrické bezpečnosti jsou svítidla klasifikovaná do čtyřech tříd. Svítidla třídy 0 mají pouze základní izolaci, to znamená, že nemají prostředky na připojení ochranného vodiče. Kostra svítidel třídy I se musí spojit s ochranným vodičem PE (má zelenožlutou barvu), na tento účel je svítidlo vybavené příslušnou svorkou. Svítidla třídy II takovou svorku nemají, připojují se jen na krajní vodič (fázi) L (černý) a neutrální vodič N (světlemodrý). Obvykle jde o celoplastová svítidla. Svítidla třídy III jsou určena na malé napětí, jde například o svítidla pro nízkonapěťové halogenové žárovky na 12 V.

Důležitou vlastností svítidla je stupeň krytí. Vyjadřuje se písmenovou značkou IP (*Ingress Protection*) a dvojciferným číslem. První číslo je z rozsahu 0 až 6 a vyjadřuje stupeň ochrany před vniknutím cizích předmětů a před dotykem. Druhé číslo je z rozsahu 0 až 8 a vyjadřuje stupeň ochrany před vniknutím vody. Některé typické stupně krytí:

- IP00 – bez ochrany
- IP20 – svítidlo s otvory většími než 12,5mm
- IP43 – typické krytí pro venkovní prostory
- IP54 – částečně prachotěsné
- IP65 – úplně prachotěsné
- IP68 – maximální stupeň krytí, odolává i při ponoření do vody v určité hloubce

Kromě krytí se pro svítidla může vyžadovat nevybušnost, což vyjadřuje speciální značka. Mechanické vlastnosti svítidla vyjadřuje tzv. IK kód (Tab. 3.1.2).

Tab. 3.1.2 IK kódy svítidel pro stupeň ochrany před mechanickým poškozením

<b>Kód</b>	<b>Nárazová energie</b>	<b>Popis svítidla</b>
IK01	0,15 J	
IK02	0,2 J	otevřené
IK03	0,3 J	uzavřené s krytem z PMMA
IK04	0,5 J	se zpevněným optickým systémem
IK05	0,7 J	
IK06	1 J	
IK07	2 J	zesilněné
IK08	5 J	uzavřené, PC kryt
IK09	10 J	
IK10	20 J	antivandalské

### 3.1.3 Morfologie svítidel

Svítidla se skládají především ze třech základních částí:

- *světelněčinné části* (optika) – slouží ke změně směrování světelného toku (křivky svítivosti),
- *elektrotechnické části* – slouží na přívod elektrické energie k světelným zdrojům (vodiče, objímky) přizpůsobuje provoz světelného zdroje (předřadník, zapalovač) atd.,
- *konstrukční části* – slouží jako celkový konstrukční nosný základ svítidla (základní těleso) a také obsahuje prvky na montáž a upevnění svítidla.

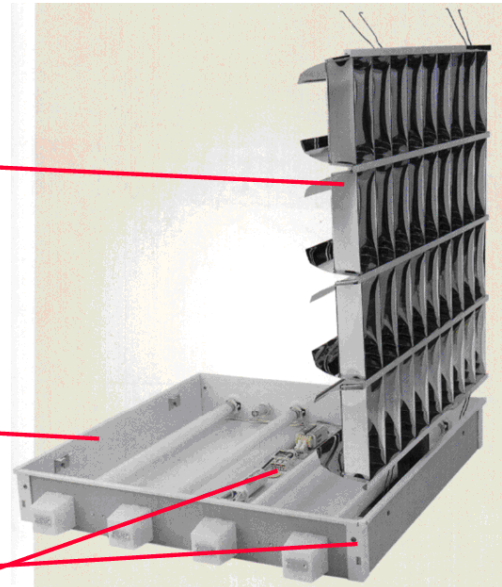
Stavba typického interiérového svítidla je znázorněná na Obr. 3.1.6.

**A**

**B**

**C**

**D**



Obr. 3.1.6 Stavba typického interiérového svítidla  
A – světelněčinná část, B, C – konstrukční části, D – elektrotechnické části

Základní funkci svítidla, t.j. měnit rozložení světelného toku, plní ve svítidle tzv. *světelněčinné části*, kterými mohou být reflektory, refraktory nebo difuzory, kde:

- *reflektor* je zařízení, které mění rozložení světelného toku podle optického zákona odrazu,
- *refraktor* je zařízení, které mění rozložení světelného toku podle optického zákona lomu,
- *difuzor* je zařízení, které rozptyluje světelný tok odrazem nebo prostupem do různých směrů; rozlišujeme difuzory s rozptylným odrazem a s rozptylným prostupem.

V moderních svítidlech se nejčastěji používají reflektory a difuzory s rozptylným odrazem. V některých případech se vyskytuje i kombinace uvedených světelněčinných částí, příp. se použije několik různých světelněčinných částí stejného druhu.

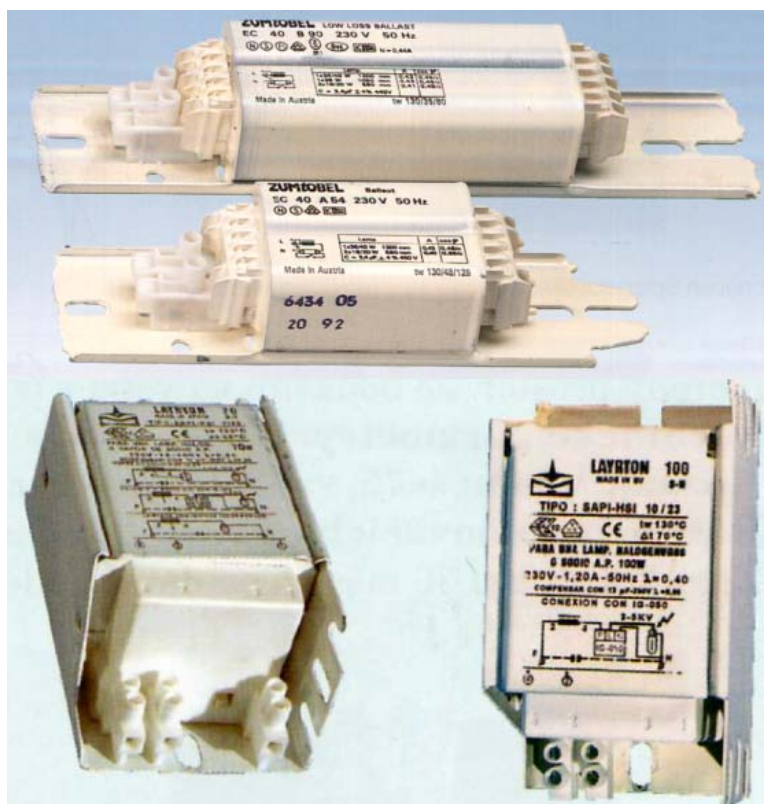
Příklad katalogového listu svítidla je uveden viz Příloha č. 1.

## 3.2 Konstrukční prvky svítidel [7]

*Elektrické příslušenství* svítidel zahrnuje především tyto komponenty:

- tlumivky pro zářivky a výbojky,
- transformátory, měniče,
- zapalovače, předřadníky,
- kondenzátory kompenzační a odrušovací,
- objímky,
- spínače,

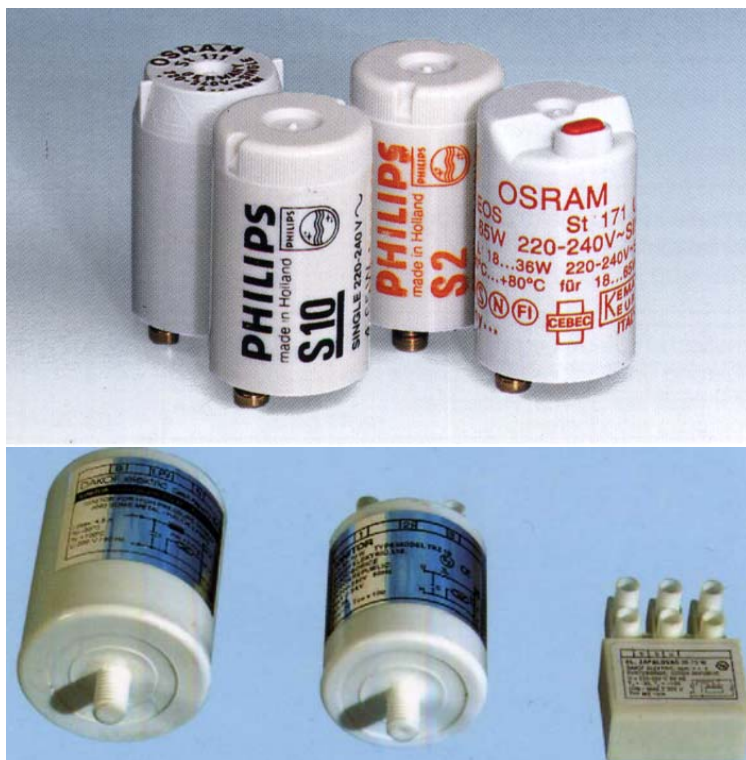
- pojistky,
- svorky, svorkovnice,
- vnitřní vodiče.



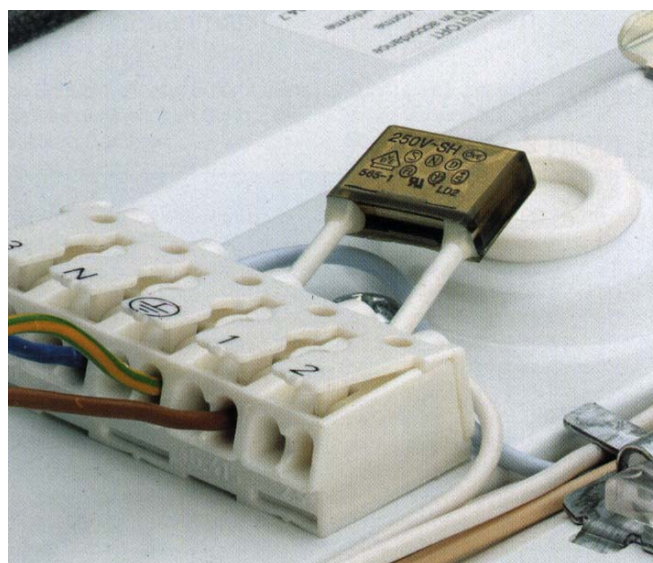
Obr. 3.2.1 Tlumivky pro zářivková svítidla (nahore) a výbojková svítidla (dole)

Kromě klasických předřadníků tvořených tlumivkou (Obr. 3.2.1), zapalovačem (Obr. 3.2.2), kompenzačním a odrušovacím kondenzátorem (Obr. 3.2.3) se v posledním období trend ubírá směrem k používání elektronických předřadníků. Podobně i pro napájení nízkonapěťových halogenových žárovek se upřednostňují měniče (tzv. elektronické transformátory) oproti klasickým indukčním transformátorům, které jsou charakteristické vyššími ztrátami. Určitou nevýhodou elektronických předřadníků jsou harmonické, které se musí filtrovat. Obsah harmonických je limitovaný požadavky evropské normy EN 61000-3-2.

Co se týká rádiového rušení, platí požadavky českých norem pro elektromagnetickou kompatibilitu. Jde např. o ČSN EN 55015 pro požadavky na potlačení rádiového rušení, ale např. i ČSN EN 61547 nebo ČSN EN 61047 pro požadavky na odolnost (imunitu) vůči rušení z vnějších zdrojů. V současnosti se intenzivně používají různé druhy záření, většinou v kHz oblasti, které interferují s frekvencemi elektronických předřadníků. Problémy vznikají především při používání bezdrátových tlumočnických systémů a infračerveného dálkového ovládaní. U konvenčních předřadníků se používá odrušovací kondenzátor. Elektronické předřadníky jsou vybaveny dokonalejší filtrací.



Obr. 3.2.2 Zapalovače – startéry pro zářivková svítidla (nahore) a zapalovače pro výbojková svítidla (dole)



Obr. 3.2.3 Svorkovnice, vnitřní vodiče, kondenzátor

Běžné šroubovací svorkovnice v současnosti postupně vytlačují bezšroubové svorky a svorkovnice různých druhů. Tyto moderní svorkovnice umožňují rychlejší, pohodlnější a všeobecně i kvalitnější montáž svítidla nebo připojovacích kabelů.

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



Objímky se ve svítidle používají podle typu patice konkrétního světelného zdroje. Používají se tyto druhy patic / objímek:

- závitové: E14, E27, E40,
- bajonetové: B15, B22,
- zářivkové,
- kolíkové: G23, G24, G7 atd.,
- pro zapalovač zářivky,
- pro halogenové žárovky: R7s,
- pro halogenové žárovky: G4, GY4, GX5,3 atd.

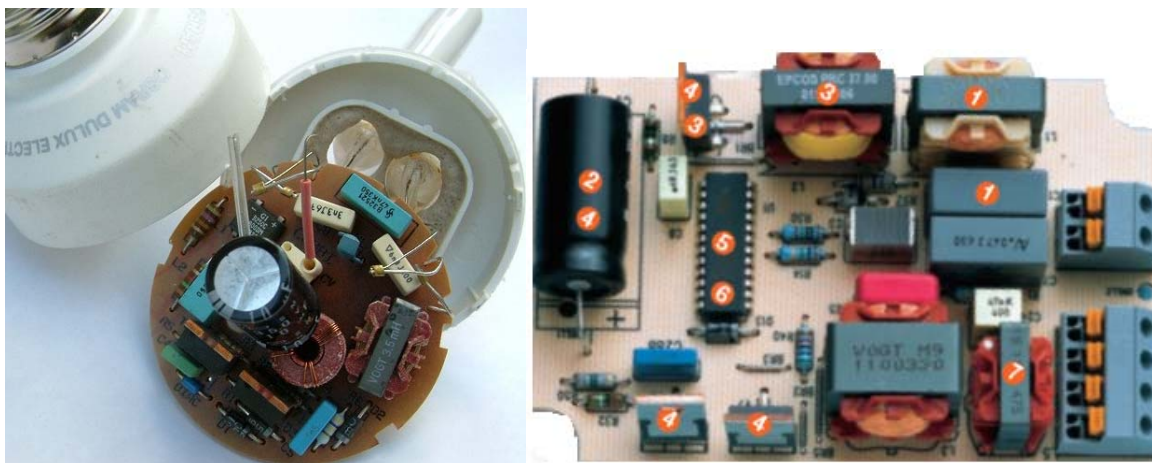
### 3.3 Předřadné přístroje [7]

#### 3.3.1 Parametry předřadných přístrojů

V oblasti osvětlení se nemalý potenciál úspor energie skrývá v předřadnících zářivek. Zářivkové osvětlení zahrnuje nespočetné množství svítidel prakticky v celé výrobní a komunální sféře a v hojné míře se používají i v domácnostech. Snížit systémový příkon zářivkového osvětlení (příkon systému předřadník + světelný zdroj) na minimum a v konečném důsledku dosáhnout úspory elektrické energie je cílem směrnice EU č. 2000/55/EC (směrnice o požadavcích na energetickou účinnost předřadníků pro zářivky). Předřadníkem se na účely posuzování energetické účinnosti rozumí přístroj zařazený mezi napájení a jeden výbojkový zdroj nebo více výbojkových zdrojů, který indukčností, kapacitou nebo jejich kombinací zabezpečuje také omezení proudu výbojkového zdroje na požadovanou hodnotu. Předřadník se může skládat z jedné části nebo z více oddělených částí, může obsahovat i prostředky na transformaci napětí a příslušenství, která pomáhají získat zapalovací napětí a předešívací proud, zabraňují studenému zápalu, snižují stroboskopický efekt, upravují účinník nebo potlačují rádiové rušení.

Rozlišujeme tyto druhy předřadníků:

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



Obr. 3.3.1 Elektronické předřadníky  
 a) Integrovaný předřadník v kompaktní zářivce  
 b) Samostatný předřadník s odejmutým krytem

Do skupiny výrobků „elektrické předřadníky“ patří elektrické síťově napájené předřadníky zářivkových zdrojů světla. Požadavky se nevztahují na:

- integrované předřadníky zabudované v zářivkách (Obr. 3.3.1a),
- předřadníky navrhnuté speciálně pro svítidla na montáž do nábytku a předřadníky tvořící nevyměnitelnou část svítidla, které se nemohou zkuset odděleně od svítidla,
- předřadníky určené na vývoz z Evropských společenství samostatně nebo jako součást svítidla.

Při použití elektronického předřadníku zabezpečují pracovní parametry zářivky elektronické obvody. Výhody elektronického předřadníku:

- okamžitý start bez blikání,
- stabilní výboj,
- úplné potlačení stroboskopického jevu (30 - 40 kHz),
- zvýšení měrného výkonu (řádově o 10 %),
- časté spínání nezkracuje životnost světelného zdroje,
- menší rozměry, menší hmotnost,
- možnost stmívání (speciální předřadník),
- menší energetické ztráty, malá vlastní spotřeba.

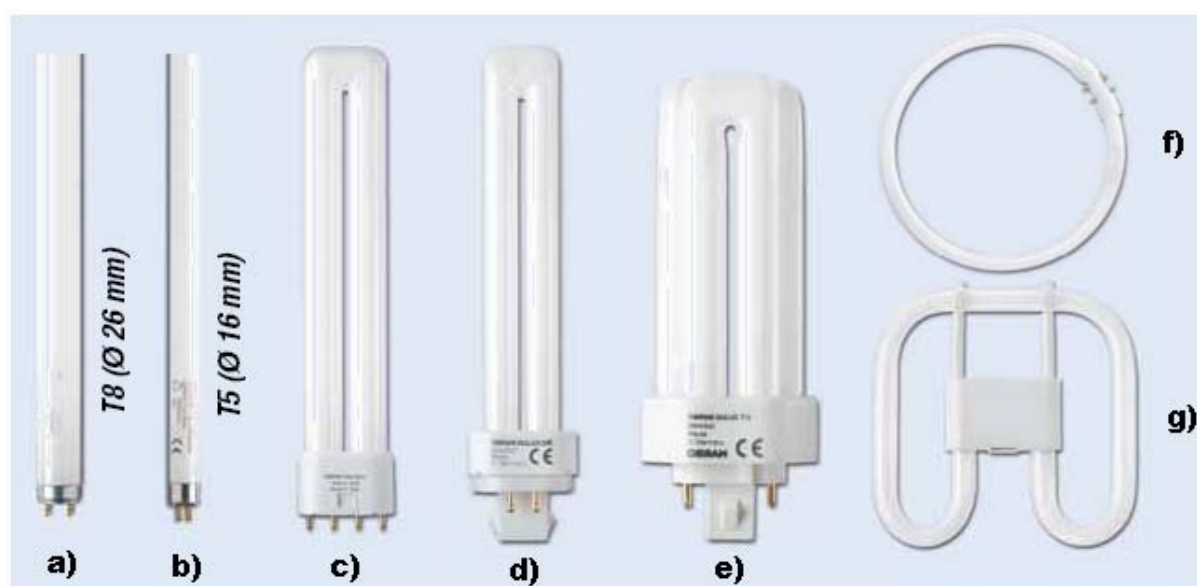
Elektronické předřadníky např. přehřívají vlákna elektrod, čímž umožňují snazší emisi nosičů nábojů. Takový provoz je šetrnější a prodlužuje životnost zářivky. Dnes jsou pro nové typy zářivek T5 (s průměrem trubice 16 mm) k dispozici inteligentní elektronické předřadníky, které dokáží automaticky rozpoznat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

### 3.3.1.1 Klasifikace předřadníků pro zářivky

Pro výpočet největšího příkonu obvodu předřadníku světelného zdroje pro konkrétní typ předřadníku musí být předřadník nejdříve zařazen podle Tab. 3.3.1. *Obvod předřadníku světelného zdroje* je elektrický obvod nebo jeho část, obvykle umístěná ve svítidle, která se skládá z předřadníku a ze světelného zdroje. Přehled druhů zářivek je na Obr. 3.3.2.

Tab. 3.3.1 Kategorie předřadníků pro zářivky

Kategorie předřadníku	Světelný zdroj, pro který je předřadník určený
1	Lineární zářivka, kruhová zářivka
2	Kompaktní zářivka 2-trubicová
3	Kompaktní zářivka 4-trubicová, plochá
4	Kompaktní zářivka 4-trubicová
5	Kompaktní zářivka 6-trubicová
6	Kompaktní zářivka DD



Obr. 3.3.2 Základní druhy zářivek

a) lineární zářivka T8 (kategorie 1), b) lineární zářivka T5, c) kompaktní zářivka dvojtrubicová (kategorie 2), d) kompaktní zářivka čtyřtrubicová (kategorie 4), e) kompaktní zářivka šestitubicová (kategorie 5), f) kompaktní zářivka kruhová, g) kompaktní zářivka DD (kategorie 6)

Kromě klasifikačního schématu se určuje kategorie předřadníku na základě druhu světelného zdroje (zářivky) a k vyjádření stupně energetické účinnosti předřadníku se používá i označení (resp. kategorizace) předřadníků na základě **indexu energetické účinnosti EEI** (angl. *Energy Efficiency Index*). Systém klasifikace předřadníků na základě indexu energetické účinnosti má 7 tříd uvedených v Tab. 3.3.2.

Tab. 3.3.2 Příklad indexu energetické účinnosti předřadníků pro 36 W lineární zářivky

EEI	Popis	P <sub>BL</sub> (W)
A1	Stmívatelný elektronický předřadník (při 100 % - 25 %)	> 45
A2	Nízkoztrátový elektronický předřadník	≤ 45
A3	Elektronický předřadník	≤ 43
B1	Nízkoztrátový klasický předřadník s velmi nízkými ztrátami	≤ 41
B2	Nízkoztrátový klasický předřadník	≤ 38
C	Klasický předřadník se středně vysokými ztrátami	≤ 36
D	Klasický předřadník s velmi vysokými ztrátami	≤ 38/19

Poznámka:

P<sub>BL</sub> - příkon obvodu předřadníku světelného zdroje, příklad pro zářivku 36 W T8 (T26)



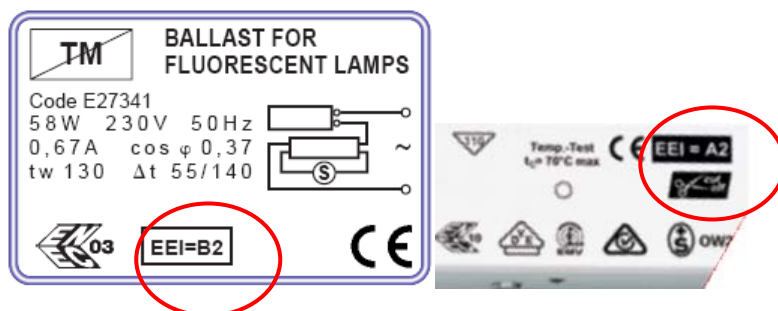
a) klasický předřadník (EEI: B až D)



b) elektronický předřadník (EEI: A1 až A3)

Obr. 3.3.3 Základní druhy předřadníků pro zářivky

Na Obr. 3.3.4 je příklad označení indexu energetické třídy EEI na předřadnicích. Na rozdíl od značky shody CE označení energetické třídy EEI není povinné, avšak prakticky všichni významnější výrobci předřadníků tento systém uznávají a předřadníky označují.



Obr. 3.3.4 Označení indexu energetické třídy EEI na předřadnicích

*Nízkoztrátové klasické předřadníky* energetických tříd B1 a B2 mají v porovnání s klasickými předřadníky tříd C a D hrubší měděné vodiče (vodiče s větším průřezem) a železné jádro s menším rozptylem. Toto konstrukční zdokonalení umožnilo snížit vnitřní ztráty, a tak zvýšit účinnost předřadníku.

*Elektronické předřadníky* energetických tříd A1, A2 a A3 představují značný potenciál úspor energie, příkon obvodu předřadníku světelného zdroje při 50 Hz může být dokonce menší jako jmenovitý příkon světelného zdroje. To se dosahuje díky vyšší účinnosti zářivek při vysoké frekvenci ( $> 20$  kHz), příkon zářivek klesne přibližně o 10 % a současně se sníží i ztráty v předřadníku.

*Stmívatelné elektronické předřadníky* se klasifikují do třídy EEI = A1, když splňují tyto podmínky:

- při 100 % světelného toku předřadník splní aspoň požadavky na energetickou třídu A3,
- při 25 % světelného toku se celkový příkon rovná nebo je menší jako 50 % příkonu při plném světelném toku 100 %,
- předřadník musí být schopný snížit světelný tok na úroveň 10 % nebo méně maximálního světelného toku.

Index energetické třídy EEI se vztahuje jen na elektrický příkon obvodu předřadníku a světelného zdroje (měřený při 25 °C), nevztahuje se na celé svítidlo, které může být vybavené i dalšími elektrickými součástkami. EEI také není možné zaměňovat s účinností svítidla, při které se zohledňují i optické vlastnosti (křivky svítivosti, jasy, clonění) v závislosti na cíli použití.

Je třeba upozornit ještě na skutečnost, že klasické předřadníky jsou obvykle určeny samostatně pro každý světelný zdroj. Vyjímkou jsou jen zářivky s příkonem 18 W, které se ve dvojici dají provozovat s jedním předřadníkem pro zářivku 36 W. Na rozdíl od uvedeného, podobné technické omezení se na elektronické předřadníky nevztahují, což vyplývá z jejich principu a konstrukce. Existují předřadníky pro jeden, dva i několik světelných zdrojů. Tyto předřadníky mají pro každý světelný zdroj samostatné svorky.

Příklad katalogového listu předřadníku je uveden viz Příloha č. 2.

## 3.4 Světelné zdroje [7]

### **Stručná historie elektrických zdrojů světla [5]**

1879 – žárovka s uhlíkovým vláknem a patičí se závitem

1967 – halogenidová výbojka

1971 – první modrá LED

1980 – první kompaktní zářivka

1990 – první koncept plasmového zdroje (sirná výbojka)

1993 – indukční výbojka QL lamp firmy Philips

1999 – první komponenty pro systém DALI, zal. Konnex Association

2000 – firma OSRAM uvádí na trh indukční výbojku ENDURA

2003 – bílá LED s výkonem 65 lm/W

2006 – Nichia Corporation představila LED s účinností 150 lm/W

2006 – LUXIM představuje nový plasmový zdroj LIFI

2007 – Cree, Inc. oznámila dosažení výkonu 1000 lm z jediné LED

### 3.4.1 Žárovky

Princip činnosti: Vlákem žárovky prochází elektrický proud. Vlákno je odporový materiál, průchodem proudu vznikají ztráty a elektrická energie se nejprve mění na teplo – vlákno se zahřívá. Vlákno zahřáté na vysokou teplotu se stává zdrojem záření. Z principu žárovek vyplývá, že až 95 % dodané elektrické energie se mění na teplo (záření v infračervené oblasti spektra) a jen zbylých 5 % se mění na světlo. Žárovky jsou teda značně nevhodné. I tak jsou však stále oblíbené a mají uplatnění tam, kde se svítí krátce.

Mezi výhody žárovek patří také vhodný tvar, jednoduchá konstrukce, malé rozměry a hmotnost, jednoduché napájení, *nízka cena*, okamžitý start a stabilní svícení během celé doby životnosti, spojitě spektrum, index podání barev  $R_a = 100$ , vyráběná široká škála příkonů a napětí, nezávislost od teploty okolí a fakt že neobsahují látky, které by enormě zatěžovaly životní prostředí. Nevýhody žárovek spočívají také v nízké účinnosti, nízké životnosti, malém měrném výkonu a výrazné závislosti parametrů na stabilitě napájení.

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

Co se týče dalšího vývoje, zdá se, že éra obyčejných žárovek definitivně končí. I když se ještě nedávno experimentovalo s různými vylepšeními, stop obyčejným žárovkám dává směrnice EU o energetické účinnosti konečného využití energie. Výrobci světelných zdrojů však už dnes nabízejí adekvátní náhrady do existujících svítidel v podobě halogenových žárovek.

### 3.4.2 Halogenové žárovky

Princip činnosti: Princip halogenových žárovek je podobný principu obyčejných žárovek. Vylepšením je náplň halogenů ve vnitřním prostředí baňky. V obyčejné žárovce se postupně ze zahřátého vlákna odpařuje wolfram a usazuje se na vnitřním povrchu baňky. Baňka černá a propouští méně světla. Když se na některém místě vypaří wolfram nad kritickou hranici, vlákno bude příliš tenké a přepálí se – skončí se život žárovky. Vypařování wolframu pomáhá zabraňovat tlak náplně inertního plynu. Kruhový cyklus v halogenových žárovkách funguje tak, že odpařený wolfram se slučuje s halogenem při nižší teplotě (baňka zdroje), halogenid vrací wolfram zpět na vlákno a při vysoké teplotě vlákna se opět disociuje. Cyklus se opakuje.

Kruhový cyklus umožňuje dosáhnout vyšší životnost než mají obyčejné žárovky, také černání baňky je menší a baňka žárovky může mít menší (kompaktnější) rozměry.

Výhody halogenových žárovek (oproti žárovkám) je možné shrnout následovně:

- baňka nezčerná a má stabilní světelný tok během celé životnosti,
- vyšší měrný výkon,
- vyšší životnost,
- velká odolnost vůči teplotním změnám,
- vyšší teplota chromatičnosti,
- malý průměr baňky - vyšší tlak plynů - menší rychlost odpařování wolframu.

Baňky moderních halogenových žárovek se pokrývají selektivním filtrem (tzv. IRC technologie), který část infračerveného záření vrací zpět na vlákno (Obr. 3.4.1). Měrný výkon  $\eta$  se takto zvyšuje až o 25 %.

V praxi se nejčastěji používají halogenové žárovky na malé napětí, často už jako komplet s malým reflektorem. Nízkonapěťové žárovky (nejčastěji na 12 V) vyžadují ke své činnosti transformátor na snížení síťového napětí. Dnes se dává přednost elektronickým transformátorům (měničům). Některé typy elektronických transformátorů umožňují i stmívání žárovek. V takovém případě má transformátor navíc speciální vstup pro řízení stmívače nebo má rozhraní na připojení do systému inteligentní instalace (např. systém DALI a pod.).

V závislosti na výkonu transformátoru se k němu dá připojit i několik halogenových žárovek. Například 105 VA transformátor je možné použít pro 3 x 35 W žárovky, 150 VA pro 3 x 50 W nebo 5 x 20 W.

Současné trendy vývoje halogenových žárovek můžeme charakterizovat následovně:

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



Obr. 3.4.1 IRC technologie a miniaturizace v oblasti reflektorových halogenových žárovek

### 3.4.3 Lineární zářivky

Princip činnosti: Zářivka je v podstatě nízkotlaká rtuťová výbojka. Ve skleněné trubici je náplň rtuti a dvě elektrody. Na elektrody se přivede vysokonapěťový impuls, tak aby došlo k elektrickému průrazu v plynném prostředí. Průrazem se ionizuje vnitřní prostředí, které umožní průtok proudu. Takto vznikne v zářivce výboj. Zářivka však vyzařuje převážně

v ultrafialové oblasti, maximum záření má v okolí 250 nm. Toto záření se ve viditelné mění pomocí *luminoforu*, což je speciální bílý prášek nanesený na vnitřní straně trubice.

Nejdůležitější parametry zářivek jsou uvedené v Tab. 3.4.1. Předností zářivek je hospodárnost přeměny energie, poměrně vysoká životnost a vysoký měrný výkon. Nevýhody zářivek spočívají v nutnosti zapojit do obvodu vhodný předřadník, kolísání světelného toku při napájení výbojek střídavým proudem (neplatí v případě elektronických předřadníků) a ve vyšších investičních nákladech v porovnání se žárovkami.

Tab. 3.4.1 Parametry zářivek

Druh zářivky	Příkon (W)	Světelný tok (klm)	Životnost (h)	Měrný výkon (lm/W)	T <sub>k</sub> (K)	Index R <sub>a</sub>
průměr 38 mm klasický luminofor	20, 40, 65	1,05 - 4,4	8 000	52 - 68	3000 - 5000	50 - 70
průměr 26 mm klasický luminofor	18, 36, 58	1,15 - 4,8	8 000	55 - 74	3000 - 5000	50 - 70
průměr 26 mm trojpásmový luminofor	18, 36, 58	1,3 - 5,2	až 15 000	72 - 100	2700 - 6500	80 a více
průměr 26 mm luminofor s lepším R <sub>a</sub>	18, 36, 58	1 - 3,75	až 15 000	55 - 65	3000 - 5000	90 a více
průměr 16 mm elektronický předř.	14 - 35	1,35 - 3,65	až 16 000	95 - 107	3000 - 6000	80 a více
s průměrem 7 mm	6, 8, 11, 13	0,31 - 0,93	10 000	52 - 72	3000 - 6000	> 80
kruhové	22, 32, 40	1,35 - 2,9	10 000	61 - 74	2700 - 4000	> 80
U tvar	20, 40, 65	0,95 - 4,5	10 000	48 - 70	3000 - 4000	50 - 90
miniaturní	4 - 13	0,12 - 0,95	8 000	30 - 75	2700 - 4000	50 - 90
barevné	18, 36		8 000			

Zářivky vyžadují pro svou činnost startér (tlumivkový zapalovač). Nízkotlaký výboj je nestabilní, proto zářivka vyžaduje i předřadník. U klasického předřadníku se používá tlumivka, která je zapojena do série se zářivkou. Paralelně připojený k síti ještě můžeme najít ve svítidle velký kondenzátor, který slouží na kompenzaci účinníku. Menší kondenzátor slouží k odrušení sítě. Alternativou těchto klasických předřadníků je elektronický předřadník, který současně nahrazuje zapalovač, tlumivku i kondenzátory a má celou řadu výhod.

Pro zářivky je zavedený jednotný systém označování, který umožňuje lehčí orientaci v parametrech zářivek:

**L AB / XYZ**

L – všeobecné označení lineární zářivky

AB – příkon zářivky (W)

X – první číslo z indexu podání barev R<sub>a</sub>

YZ – první dvě číslice z náhradní teploty chromatičnosti T<sub>k</sub>



*Příklad:*

**L 36 / 827** je lineární zářivka s příkonem 36 W, s indexem podání barev  $R_a > 80$  a s náhradní teplotou chromatičnosti  $T_k = 2\,700\text{ K}$ .

Nejdůležitější trendy v oblasti vývoje zářivek se dají shrnout následovně:

- snižování množství rtuti v trubici lineární zářivky; moderní zářivky mají v současnosti obsah rtuti menší než 3 mg,
- vývoj amalgamových technologií vede k lepší stabilitě světelného toku při nízkých a vysokých teplotách okolí, ale přináší i další výhody,
- dořešení luminoforů s fotonovou kaskádou s Pr aktivátorem (lantanoid - praseodym),
- vývoj nízkotlakých výbojových zdrojů s proměnlivou barvou světla (závislost na speciální elektronice),
- vývoj zdrojů světla bez elektrod (s integrovanou a nezabudovanou elektronikou) – indukční výbojky,
- mimořádně intenzivně se rozvíjí program T5, na trhu jsou i zářivky tohoto typu se zlepšeným barevným podáním ( $R_a > 90$ ),
- vyšší teploty chromatičnosti; někteří výrobci dodávají zářivky s vyšším cirkadiánním koeficientem, zvyšují teplotu chromatičnosti např. na hodnotu 8000 K,
- vyšší životnost – v současnosti někteří výrobci deklarují životnost některých typů zářivek v blízkosti 50 000 h.

#### 3.4.4 Kompaktní zářivky

Princip činnosti: Kompaktní zářivky se vyznačují malými rozměry, které jsou dosahované účelným složením výbojové dráhy do soustav dvou, čtyřech, šesti nebo dokonce dvanácti paralelně umístěných a vzájemně spojených trubic. Na vnitřní stěně trubic je nanosená vrstva ze směsi úzkopásmových luminoforů na bázi vzácných zemin, které mají výrazné maximum záření v červené, zelené a modré oblasti viditelného spektra. Výbojová trubice je na koncích opatřena wolframovými elektrodami pokrytými emisní hmotou a je zatmelená do příslušné patice.

Kompaktní zářivky můžeme třídit podle míry integrace předřadného přístroje do celku samotného světelného zdroje na tři typy (pouze světelný zdroj - 4 kolíky, se zabudovaným zapalovačem - 2 kolíky, integrovaný kompletní předřadník - například s paticí E27). Přehled parametrů kompaktních zářivek je souhrně uvedený v Tab. 3.4.2.

Tab. 3.4.2 Parametry kompaktních zářivek

Druh kompaktní zářivky	Příkon (W)	Světelný tok (klm)	Životnost (h)	Měrný výkon (lm/W)	T <sub>k</sub> (K)	Index R <sub>a</sub>
bez tlumivky se zapalovačem	5 - 42	0,25 - 3,2	10 000	50 - 80	2700 - 4000	80 a viac
s tlumivkou a zapalovačem	5 - 32	0,2 - 2	12 000	40 - 65	2700	80 a viac
bez tlumivky - a zapalovače	5 - 72	0,25 - 4,5	15 000	50 - 60	2700 - 6000	80 a viac

### 3.4.5 Vysokotlaké rtuťové výbojky

Princip činnosti: Výboj probíhá v hořáku z křemenného skla s tlakem rtuťových par převyšujícím 100 kPa. Hořák je upevněn v baňce pomocí nosného systému a je plněný rtuť a argonem. Má dvě hlavní elektrody, mezi kterými hoří hlavní oblouk a jednu zapalovací elektrodu. Přídavná baňka elipsoidního tvaru je naplněná směsí dusíku a argonu a slouží jako tepelná izolace. Spektrum záření hořáku se skládá z ultrafialového a viditelného záření. Z viditelného spektra jsou to hlavně barvy - fialová (404,7 a 407,8 nm), modrá (435,8 nm), zelená (546,1 nm), žlutá (577,0 a 579,0 nm). Světlo vysokotlakových rtuťových výbojek s čirou baňkou je modrozelené. Aby jsme dostali bílé světlo, nanášíme na vnitřní stěnu baňky luminofor. Luminofor transformuje ultrafialové záření hořáku na viditelnou červenou barvu. Ta spolu s ostatními barvami mícháním vytvoří bílé světlo.

Rtuťové výbojky na rozdíl od zářivek nepotřebují k provozu zapalovač - mají zapalovací elektrodu. Ke stabilizaci výboje však potřebují tlumivku. Náběhový čas je poměrně krátký 3 - 5 min. Měrný výkon se pohybuje v rozmezí 40 - 60 lm/W, index barevného podání 40 - 60 a životnost 8000 - 12 000 h. V interiérech se používají především v průmyslu a pod.

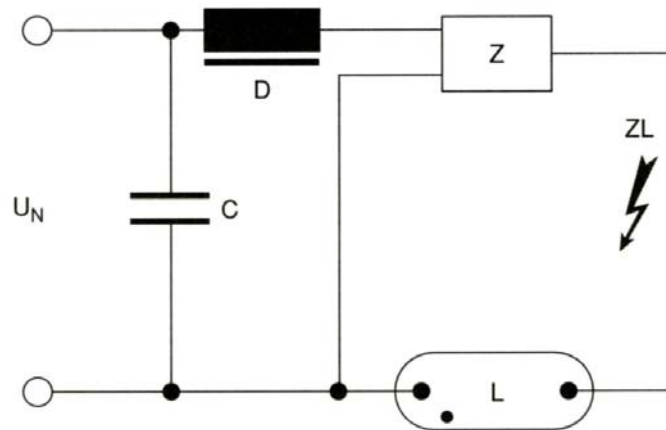
Rtuťové výbojky se v současnosti nahrazují modernějšími a účinnějšími světelnými zdroji, a to vysokotlakými sodíkovými výbojkami nebo při vyšších nárocích na barvu světla halogenidovými výbojkami. Dá se říct, že v budoucnosti se s rtuťovými výbojkami už neuvažuje – zákaz jejich použití zřejmě přinese připravovaná implementace směrnice EU o energetické účinnosti konečného využití energie.

### 3.4.6 Vysokotlaké sodíkové výbojky

Princip činnosti: Hořák mají vyrobený z neprůhledného monokrystalického oxidu hlinitého - korund (mléčně bílý). Na koncích hořáku jsou elektrody. Hořák je plněný argonem a sodíkem. Vlivem vysokého tlaku sodíkových par tato výbojka vyzařuje ve více čárových spektrech (barvách). Sodíkové výbojky produkují přímo žluté světlo a baňka nemusí být pokrytá luminoforem. Výbojka má trubicový tvar.

Vyrábějí se i sodíkové výbojky eliptického tvaru s luminoforem, luminofor zde působí jako difúzní materiál a rozptyluje světlo rovnoměrně do všech směrů.

Vysokotlaká sodíková výbojka potřebuje ke svému provozu tlumivku i zapalovač (schéma zapojení je na Obr. 3.4.2). Zapalovače jsou většinou tyristorové. Sodíkové výbojky mají vysoký měrný výkon 80 - 120 lm/W (speciální až 150 lm/W) a v současnosti i velmi dlouhou životnost až 28 000 h. Index podání barev se standardně pohybuje kolem hodnoty 25. V interiérech se používají k osvětlení méně náročných prostorů, kde se vyžadují větší příkony – např. velké haly s manipulační činností bez trvalého pobytu osob atd.



Obr. 3.4.2 Schéma zapojení vysokotlaké sodíkové výbojky  
L – zářivka, Z – zapalovač, D – tlumivka, C – kompenzační kondenzátor,  $U_N$  – napájecí napětí

Pokrok v oblasti sodíkových výbojek můžeme charakterizovat následovně:

- vývoj a nasazování ekologických bezrtuťových výbojek,
- dávkování nových prvků s cílem zlepšení barevného podání,
- použití vícehořákových výbojek,
- možnosti přepínání barvy světla nebo příkonu,
- minimalizace příkonů.

Nedávno se dokonce podařilo zlepšit barevné podání těchto světelných zdrojů, takže se dají použít i k osvětlení interiérů. Známé jsou sodíkové výbojky s možností přepínání světelného toku, či barvy světla. Dvojořákové sodíkové výbojky se vyznačují také velmi dlouhou životností. Moderní sodíkové výbojky mají postupné dávkování sodíku ze zásobníku, což umožňuje optimalizaci jejich provozních vlastností během dlouhého období.

### 3.4.7 Halogenidové výbojky

Princip činnosti: Halogenidové výbojky vznikly z vysokotlakých rtuťových výbojek tak, že se do hořáku přidaly různé halogenidy kovů nebo vzácných zemin. Halogenidy dodávají ty barvy světla, které vysokotlaká rtuťová výbojka neobsahuje. Dají se vyrobit s libovolnou barvou světla (denní, bílá, teple bílá).

Halogenidové výbojky mají měrný výkon 80 - 130 lm/W, životnost do 10 000 h a index barevného podání až 95. Baňku mají čirou. Vyrábějí se jednopaticové se závitem E 27 a E 40 a i dvojpaticové. Na svůj provoz potřebují tlumivku i zapalovač. Zapalovače jsou obvykle tyristorové. Halogenidové výbojky můžeme provozovat i s elektronickým předřadníkem. Jejich použití je předurčené pro vnitřní i venkovní osvětlení, průmysl, sportoviště, výstavní haly, prodejní prostory, výlohy, osvětlování rostlin a podobně. V posledním období se

začínají více využívat v interiérech, dokonce se vyrábějí už i v nízkopříkonových variantách (20 a 35 W).

### 3.4.8 Světelné diody (LED)

Ve světelné technice před několika lety nastal zvrát, když se navrhly a následně začaly vyrábět světelné diody, které měly podstatně vyšší jas než jejich předchůdci. Začalo se nejen se zvyšováním hodnoty jasu, ale začaly se vyrábět i jiné barvy těchto polovodičových diod. Nové technologie umožnily vyrábět diody s bílým světlem. Odtud je jen krok k myšlence vytvořit nový světelný zdroj s vynikajícími vlastnostmi, který bude mít světelnětechnické parametry porovnatelné s jinými světelnými zdroji s tím, že se LED diody vhodně pospojují do jediného celku. Postupně se vylepšují tyto technologie a začínají otvírat nový obzor osvětlovacím zařízením.

Jednou z výhod LED je, že jsou, podobně jako laser, zdrojem monochromatického záření. Toto záření má jen úzké pásmo vlnových délek na rozdíl od obyčejných žárovek, které mají toto spektrum spojité a obsahují každou vlnovou délku viditelného záření (a navíc mnoho neviditelného záření). Barva vyzařovaného světla je daná použitým materiálem a příměsí substrátu. Na výrobu LED se používají polovodičové prvky. První technologie nebyla schopná vyrábět LED, které by vyzařovaly bílé světlo. Měrný výkon LED postupným vývojem neustále roste. Už dnes dosahuje hodnot porovnatelných s klasickými druhy výbojových světelných zdrojů. LED vyžadují při svém provozu účinné chlazení.

Jako předřadné přístroje se k napájení LED dají použít standardní zdroje stejnosměrného proudu, které zabezpečí jeho omezení na vhodnou hodnotu, při které dosahuje optimálních parametrů. V souvislosti s napájecím proudem je důležité si uvědomit jeho výrazný vliv na životnost, která bývá za optimálních podmínek až 100 000 h. Výrobci LED modulů nabízejí k napájení specializované přístroje.

Příklad katalogového listu světelného zdroje je uveden viz Příloha č. 3.

## 4. Regulace osvětlení [8]

Mezi hlavní důvody regulace a řízení osvětlení patří dosažení požadovaného osvětlení s ohledem na vykonávanou činnost, přizpůsobení osvětlení požadavkům uživatele, dosažení požadovaného osvětlení v závislosti na úrovni denního světla a snížení provozních nákladů na osvětlení. Výsledkem řízení osvětlení je zlepšení kvality osvětlení, zpříjemnění pobytu a práce, snížení příkonu svítidel a ztrát na napájecím vedení.

Dříve byly světelné zdroje řízeny (regulovány) z důvodu přizpůsobení jasů určité situaci. V posledních desetiletích však osvětlovací zařízení regulují intenzitu osvětlení převážně z ekonomického hlediska. S vývojem elektronických technologií se postupně ustupuje od klasického způsobu ovládání osvětlovacích soustav pouze změnou napájecího napětí a přistupuje se k řízení osvětlení pomocí různých řídicích systémů. Tyto systémy poskytují možnost řídit a ovládat osvětlovací soustavu z hlediska maximálního využití denního světla a přítomnosti osob.

V dnešní době existují systémy, které se zabývají nejen řízením osvětlení, ale také ovládáním všech technologií v budovách, jako jsou vytápění, klimatizace, bezpečnostní systémy a požární signalizace. Přestože ekonomické a energetické úspory jsou hlavním kritériem pro volbu těchto systémů, dosahuje se pomocí nich také zvýšení komfortu osvětlování a provozní bezpečnosti.

Nejdůležitější požadavky pro řízení umělého osvětlení:

- *Komfort řízení* – spočívá v poskytnutí *pohodlného ovládání* dané osvětlovací soustavy. Komfort spojený s kvalitou řízení osvětlovací soustavy se dosahuje použitím různých senzorů a dálkových ovládaní.
- *Úspora elektrické energie* – řídicí systémy dosahují vysoké úspory při optimálním návrhu osvětlovací soustavy ve spojení s využitím dostupného denního světla, s časovými spínači a s použitím světelných a pohybových senzorů.
- *Flexibilita* – přizpůsobivost řídicího systému je důležitou vlastností řídicích prvků zabezpečujících variabilitu použití.
- *Přesnost a funkčnost systému* – je dána kvalitou použitých řídicích prvků.
- *Ekonomické náklady* – jsou jedním z rozhodujících kritérií při výběru řídicího systému a souvisí s předcházejícími kritérii.

### 4.1 Ovládání osvětlení

Provádí se klasickými spínači – řízení rovnoměrně rozmístěné osvětlovací soustavy dosáhneme tzv. zaokrouhváním svítidel. Jednotlivé okruhy spínáme vypínači nebo napojením na řízení v závislosti na přítomnosti denního osvětlení či přítomnosti osob. Je to jeden s nejjednodušších principů řízení osvětlovacích soustav. Nutná je ovšem podmínka zachování vyhovující rovnoměrnosti. Rozsah stmívání je obvykle 100 % a 50 %. Počet regulačních stupňů závisí pouze na počtu okruhů. Je nutné s těmito stupni počítat (již při návrhu osvětlovací soustavy) tak, aby byla při všech úrovních splněna podmínka požadované rovnoměrnosti osvětlení. Hlavní výhodou tohoto řízení jsou nesporně velmi nízké investiční náklady.

## 4.2 Regulace světelného toku světelných zdrojů

Stmívači – dosahujeme plynulé regulace osvětlovací soustavy. Existují různé druhy stmívačů od analogových až po elektronické, v závislosti na použitém zdroji osvětlení a předřadného přístroje. Tyto stmívače můžeme řídit ručně pomocí tlačítek, řídicím systémem nebo dálkovým ovládáním. Povel ke stmívání může být také spuštěn z čidla přítomnosti osob, čidlem na denní osvětlení, nebo časovým spínačem. Při stmívání se obecně snižuje měrný výkon světelných zdrojů. Tento fakt je nutno zdůraznit, protože například při provozu osvětlovací soustavy na 50% světelného toku není elektrický příkon 50%, ale je vyšší. V Tab. 4.2 je znázorněn orientační rozsah možností regulace světelného toku u vybraných světelných zdrojů.

Tab. 4.2 Rozsah regulace vybraných světelných zdrojů

Světelné zdroje	Rozsah regulace [%]	Poznámka
Žárovky	0 ÷ 100	Snižování $T_c$ (K) teploty chromatičnosti
Halogenové žárovky	0 ÷ 100	
Zářivky s konvenčním předřadníkem (tlumivka) + regulační prvek	40 ÷ 100	
Zářivky se stmívatelným elektronickým předřadníkem	1 ÷ 100	
Kompaktní zářivky se stmívatelným elektronickým předřadníkem	3 ÷ 100	
Světelné diody (LED)	0 ÷ 100	
Halogenidové výbojky s regulačním prvkem (pro frekvenci 50 Hz)	50 ÷ 100	Nedefinované změny barvy světla – nedoporučuje se stmívat
Vysokotlaké sodíkové výbojky	40 ÷ 100	

### Možnosti regulace klasických žárovek:

- *Základní regulace* - osvětlovací soustavy probíhá přepínáním okruhů, nejčastěji v rozsahu 0 %, 50 %, 100 % (v případě 2 elektrických okruhů).
- *Fázová regulace* - jedná se o regulaci napětím, kde systém reguluje světelný tok světelného zdroje snižováním efektivní hodnoty napájecího napětí při zachování amplitudy napětí. Rozsah regulace od 0 % do 100 % světelného toku.
- *Amplitudová regulace* - jedná se rovněž o regulaci napětím. Systém reguluje světelný tok světelného zdroje změnou efektivní hodnoty napětí, ke které dochází změnou amplitudy napětí (přepínání odboček transformátorů nebo regulace amplitudy napětí pomocí autotransformátorů). Rozsah regulace od 0 % do 100 % světelného toku.

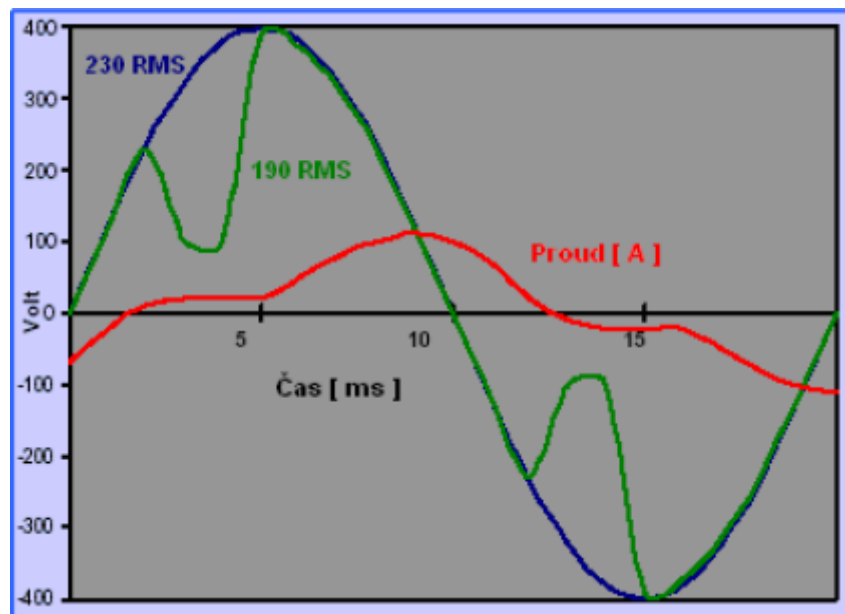
### Možnosti regulace halogenových žárovek na nízké napětí

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

wolframu s halogenovými prvky uvnitř baňky žárovky. Nedojde tím k snižování doby života žárovky.

#### **Možnosti regulace zářivek s konvenčními předřadníky:**

- *Základní regulace* - světelného toku soustavy probíhá přepínáním okruhů, nejčastěji v rozsahu 0 %, 50 %, 100 %.
- *Fázová regulace* - rozsah regulace od 40 % do 100 % světelného toku. Regulace probíhá na základě popsaném na Obr. 4.2.



Obr. 4.2 Změna efektivní hodnoty napětí při zachování amplitudy napětí.

#### **Možnosti regulace zářivek se stmívatelnými elektronickými předřadníky**

Stmívání zářivek s elektronickým předřadníkem dosáhneme změnou parametrů (frekvence, napětí) na výboji. U elektronických předřadníků rozlišujeme v podstatě dva druhy ovládání stmívání a to analogové a digitální. Pomocí stmívatelných elektronických předřadníků dosahujeme plynulou regulaci světelného toku světelných zdrojů v rozsahu 1% - 100 % u lineárních zářivek a 3% - 100% u kompaktních zářivek.

#### **Možnosti regulace zářivek s nestmívatelnými elektronickými předřadníky**

Je možná pouze základní regulace světelného toku soustavy, a to přepínáním okruhů, nejčastěji v rozsahu 0 %, 50 %, 100 %.

#### **Možnosti regulace světelných diod (LED)**

Intenzita osvětlení se reguluje elektronicky v měniči pomocí pulsně šířkové modulace. Například v automobilovém průmyslu se pro změnu intenzity světelného toku světelných diod používá modulační frekvence 200 Hz. Ovládání regulace je možné pomocí tlačítek, potenciometrů a pomocí digitálních standardů (normelizace ovládání řízení osvětlovacích soustav).

### **Možnosti regulace halogenidových výbojek:**

- *Základní regulace* – regulace světelného toku osvětlovací soustavy probíhá přepínáním okruhů nejčastěji v rozsahu 0 %, 50 % a 100 %. Velkou nevýhodou halogenidových výbojek je jejich prodleva mezi zhasnutím a možností opětovného zapnutí. Než můžeme výbojku po vypnutí znovu zapnout musíme počkat na její zchladnutí. Doba chladnutí je cca 10 ÷ 20 minut.
- *Fázová regulace* - rozsah regulace od 40 % do 100 % světelného toku. Regulace probíhá na základě popisu fázového stmívání viz Obr. 4.2. Nevýhodou fázové regulace těchto zdrojů je nedefinovatelná změna barvy světla. Výrobci fázovou regulaci světelného toku u těchto zdrojů, díky změnám světla, zásadně nedoporučují.
- *Amplitudová regulace* - jedná se rovněž o regulaci napětím. Systém reguluje světelný tok světelného zdroje změnou efektivní hodnoty napětí, ke které dochází změnou amplitudy napětí (přepínání odboček transformátorů nebo regulace amplitudy napětí pomocí autotransformátorů). Rozsah regulace od 50 % do 100 % světelného toku. Výrobci amplitudovou regulaci světelného toku u těchto zdrojů, díky změnám barvy světla, zásadně nedoporučují.
- Při provozu na vyšších kmitočtech se možnost regulace zvyšuje od 20 % do 100 %.

### **Možnosti regulace vysokotlakých sodíkových výbojek**

- *Základní regulace* – u veřejného osvětlení (dominantní nasazení vysokotlakých sodíkových výbojek) se tento typ regulace nedoporučuje z důvodu porušení rovnoměrností osvětleností a jasů na komunikacích.
- *Fázová regulace* – regulace 100 % až 50% v rozváděčích veřejného osvětlení. Fázová regulace je nasazována i v případech přepětí v síti na optimalizaci provozu VO na 100 % světelného toku.
- *Amplitudová regulace* – regulace 100 a 50%, buď přímo ve svítidle pomocí dvouvinutové tlumivky, nebo pomocí přepínání odboček transformátorů v rozváděčích veřejného osvětlení. Amplitudová regulace v rozváděčích VO je nasazována i v případech přepětí v síti na optimalizaci provozu VO na 100 % světelného toku.

Řízení elektronických předřadníků lze uskutečnit následujícími způsoby:

- *Analogové řízení* - analogově řízené elektronické předřadníky jsou ovládány úrovní řídicího napětí na vstupu předřadníku. Pro toto ovládání je použito dvou vodičové signální vedení. U analogového systému dochází k úbytkům napětí na vedení a nemusí být tedy splněna podmínka nastavení všech elektronických předřadníků osvětlovací soustavy na stejnou úroveň. Řídicí napětí se pohybuje v rozsahu 1-10V.
- *Digitální řízení* - novinkou několika posledních let je digitální řízení elektronických předřadníků. Používá se zde starší rozhraní DSI nebo novější DALI. Výhodou obou (DSI i DALI) ve srovnání s analogovým stmíváním je větší odolnost proti rušení a proti přepólování řídicího napětí. DALI rozhraní má ještě navíc možnost zpětného hlášení nefunkčního světelného zdroje a možnost uložení světelné scény do paměti přístroje. Nejsou tedy zapotřebí další paměťové moduly. Digitálním ovládaním je zajištěno nastavení všech stmívatelných předřadníků na stejnou úroveň.



### 4.3 Automatická regulace s využitím senzorů

Inteligentní řídicí systémy využívají senzory k automatické regulaci umělého osvětlení. Senzory mohou snímat intenzitu denního osvětlení, intenzitu osvětlení v místnosti a přítomnost osob. Získané informace zpracuje řídicí systém a nastaví míru regulace.

*Světelné senzory* se používají pro snímání intenzity osvětlení především fotodiody anebo fototranzistory. Některé typy senzorů mohou přímo ovládat stmívatelné elektronické předřadníky, přičemž nastavení referenční hodnoty osvětlenosti se provádí přímo na senzoru. Napájení senzoru se provádí přímo z předřadníků nebo z řídicích jednotek. Pomocí řídicí jednotky může čidlo ovládat i více skupin svítidel tak, aby intenzita osvětlení v místnosti byla na konstantní hodnotě v průběhu celého dne.

*Kombinované senzory* - jsou senzory, pomocí kterých se reguluje úroveň osvětlení podle denního světla a zároveň podle přítomnosti osob. Součástí těchto kombinovaných senzorů mohou být také IR přijímače pro dálkové ovládání osvětlovací soustavy, které ovšem slouží pouze ke zvýšení komfortu ovládání.

### 4.4 Inteligentní systémy řízení

Inteligentní řídicí systémy pro řízení osvětlovacích soustav se v principu neliší od jiných automatizovaných systémů řízení. Princip řízení spočívá ve vyhodnocování okamžitých stavů snímaných veličin, které se porovnávají s předem nastavenými hodnotami a na základě vyhodnocení se provede zpravidla samočinně regulační zásah, nebo o stavu dané veličiny systém informuje obsluhu. Komunikace mezi jednotlivými komponenty v systému probíhá většinou pomocí sběrnice (BUS), kterou se rozumí přenosové médium tvořené obvykle párem vodičů. Ke sběrnici jsou paralelně připojeni různí účastníci, kteří si po sběrnici vyměňují informace.

Všechny přístroje této inteligentní instalace lze rozdělit do tří skupin a to na senzory, akční členy a systémové přístroje:

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

**Digitální řízení pomocí rozhraní DSI** - v DSI (digital serial interface = Digitální sériové rozhraní) se převádějí signály obslužných elementů (tlačítka, senzory, domovní řídicí systémy

atd.) na digitální data (digitální sériové slovo) a přenášejí se k jednotlivým elektronickým předřadným přístrojům. Protože jednotlivé předřadníky jsou řízeny digitálně, je úroveň světelného toku od prvního do posledního předřadníku stejná. V digitálním stmívacím systému jsou jednotlivé hodnoty řídicího signálu přiřazeny předdefinované hodnotě světelného toku. Odstupňování je v souladu s logaritmickou křivkou citlivosti oka. To znamená, že systém DSI respektuje vnímání lidského oka.

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

Inteligentní řídicí systém z hlediska osvětlení umožňuje:

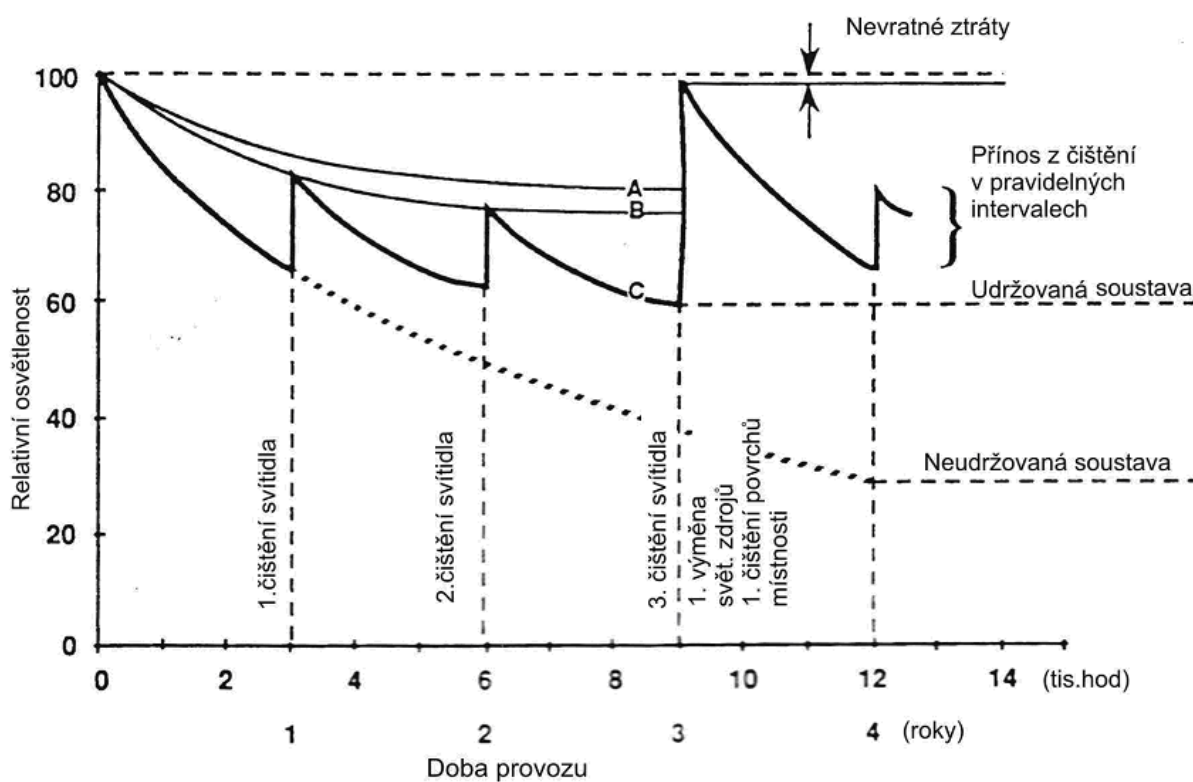
- centrální řízení osvětlovací soustavy celého objektu a jejích částí,
- zajištění hospodárného provozu a úsporu elektrické energie,
- regulaci intenzity osvětlení v závislosti na kvalitě denního osvětlení,
- volbu charakteru a intenzity osvětlení pro jednotlivá pracoviště,
- automatické ovládání osvětlení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

## 5. Údržba osvětlovacích soustav

### 5.1 Údržba a její činitelé [11]

Všechny osvětlovací soustavy v budově se od okamžiku jejich uvedení do provozu postupně znehodnocují. Ztráty jsou způsobeny usazováním nečistot a prachu na všech nechráněných površích světelných zdrojů, svítidel i na stěnách místnosti, čímž se snižují jejich činitelé prostupu nebo odrazu a dále úbytkem světelného toku světelných zdrojů, jejich vyhořením a stárnutím povrchů místností. Pokud tento proces není vzat v úvahu, dochází ke snížení osvětlenosti na velmi nízké hodnoty, jak ukazuje Obr. 5.1 a soustava se tak stává energeticky nevykonnou, nevhlednou a nebezpečnou. Vzhledem k tomu, že snížení osvětlenosti je postupné, nemusí je personál hned zpozorovat. Toto postupné snižování osvětlenosti však může za nějakou dobu vyvolat zrakovou únavu, zvýšit množství omylů a chyb v práci; úloha trvá déle a mohou se vyskytnout i úrazy.

Údržba všech osvětlovacích soustav je velmi důležitá, protože zachovává výkonnost soustavy v projektovaných mezích a podporuje bezpečnost a hospodárné využití elektrické energie. Pravidelná údržba je tedy pro efektivní osvětlovací soustavu nejdůležitější. Soustava nemá být pouze správně a důkladně čištěna, ale čištění by mělo být prováděno v pravidelných intervalech. Správně navržený plán údržby pomůže udržet požadovanou osvětlenost, snížit pořizovací i provozní náklady a provozovat soustavu bezpečně. To zajistí vyhovující vzhled i pohodu pro uživatele.



Obr. 5.1 Změny osvětlenosti v průběhu života (doby provozu) [12]

Poznámka:

**A** – Křivka stárnutí povrchů místnosti (činitele odrazu 70/50/20, dolní tok DFF = 0,0 v čistém prostředí).

**B** – Křivka stárnutí světelného zdroje (zářivka s třípásmovým luminoforem provozovaná na vysoké frekvenci).

**C** – Křivka stárnutí svítidla.

### 5.1.1 Ovlivňující činitele

Existuje několik činitelů, které mohou snížit světelný výkon osvětlovací soustavy. Lze je rozdělit na vratné a nevratné.

#### 5.1.1.1 Nevratné činitele

Nevratné činitele (NRF), jako stárnutí resp. tmavnutí materiálů, provozní teplota a napětí, jsou vlastní osvětlovací soustavě a jejímu okolí a nelze je při běžné údržbě zlepšit anebo není ani ekonomické je zlepšovat. Tyto ukazatele jsou všeobecně nevýznamné (<3%), avšak v etapě vypracování projektu osvětlovací soustavy by měly být vzaty v úvahu společně s plánem údržby a výběrem zařízení pro dané prostředí.

Jakmile se objeví nevratné změny, způsobené stárnutím nebo znečištěním, nelze je vrátit zpět do výchozího stavu a může vzniknout potřeba výměny svítidla. To je případ svítidel provozovaných např. ve špinavém nebo mastném prostředí, takže částice prachu nebo oleje se zapečou do reflektoru. V takových případech není ekonomicky schůdné uvést reflektor do původního stavu a proto je účelné (někdy i nezbytné) jej vyměnit. V opačném případě nebude osvětlovací soustava zajišťovat udržovanou osvětlenost.

Pokud vliv dalších faktorů, jakými jsou napětí, frekvence, teplota a předřadník, je stálý a významný, pak v etapě projektového řešení nutno jejich závažnost odhadnout a při výpočtech uplatnit jako korekce podobné udržovacímu činiteli. I když tyto činitele jsou důležité, nestaly se součástí této publikace ani nejsou v popisovaných metodách použity. Nicméně je vhodné konstatovat, že vliv náhodných událostí lze zanedbat tehdy, pokud nebudou překážet provozu osvětlovací soustavy.

#### 5.1.1.2 Vratné činitele

Vratné činitele, jako stárnutí světelných zdrojů, jejich funkční spolehlivost, stárnutí svítidel a stárnutí povrchů místnosti, mohou být zlepšeny rutinní údržbou. Ta by měla být stanovena v plánu údržby a realizována výměnou světelných zdrojů, čištěním, náhradou vadných komponentů nebo obnovou nátěrů povrchů.

Na příkladu, uvedeném na Obr. 5.1, je naznačen význam plánu údržby. Ten jasně ukazuje, že osvětlenost u neudržované osvětlovací soustavy se v průběhu 6 let sníží na 50% počáteční hodnoty a snižování, i když v omezené míře, dále pokračuje. Avšak při zavedení čištění jednou za dva roky a při hromadné výměně světelných zdrojů a obnově nátěrů jednou za 6 let, lze pokles osvětlenosti zastavit a obnovit ji až na více než 98% počáteční hodnoty. V tomto okamžiku udržovaná soustava zajišťuje dvojnásobnou osvětlenost v porovnání s neudržovanou soustavou. Plán údržby stanovuje pro osvětlovací soustavu udržovací činitel 0,70.

## 5.1.2 Kontrolní intervaly a kategorie čistoty

Je žádoucí provádět pravidelnou kontrolu osvětlovací soustavy. V některých zemích je přiměřené osvětlení při práci vyžadováno zákonem, vynucovaným nezávislymi inspektory.

Na pomoc pracovníkům, provádějícím kontrolu a měření osvětlení, jsou v Tab. 5.1 pro různé oblasti uvedeny maximální kontrolní intervaly. Tab. 5.1 rovněž uvádí kategorie čistoty typických pracovišť.

Poznámka:

Mohou se vyskytnout případy, zejména v určitých průmyslových provozech, v nichž je prostředí do té míry znečištěné, že vyžaduje za rozsah výše uvedené klasifikace.

Tab. 5.1 Doporučené kontrolní intervaly osvětlovacích soustav pro různá pracovní prostředí

Kontrolní interval	Kategorie čistoty	Pracoviště
3 roky	Velmi čisté (VČ)	Čisté místnosti, závody na výrobu polovodičů, nemocniční oddělení*, výpočetní střediska,
	Čisté (Č)	Úřady, školy, areály nemocnic
2 roky	Normální (N)	Obchody, laboratoře, restaurace, obchodní domy, montážní plochy, dílny
1 rok	Špinavé (Š)	Ocelárny, chemické závody, slévárny, svařování, leštění, práce se dřevem

\*Z hygienických důvodů může být vyžadována častější kontrola.

## 5.2 Analýza znehodnocení

Ke ztrátě světelného toku přispívá několik faktorů a jejich vliv a závažnost se mění podle typu činnosti a podle místa. Např. různé oblasti se liší podle rozsahu znečištění a typu nečistot ve vzduchu; množství nečistot ve slévárně je větší než v klimatizovaném úřadu. Avšak množství a typ nečistot v úřadu, nacházejícím se v blízkosti průmyslové oblasti, se liší od úřadu nacházejícího se na venkově. Černá špína v ocelárně je naprosto odlišná od relativně světlé špíny v pekárně. Proto je důležité při stanovení ztrát světelného toku tyto rozdíly rozlišit.

### 5.2.1 Činitel stárnutí světelného zdroje (LLMF)

Činitel stárnutí světelného zdroje je podíl světelného toku světelného zdroje v dané době jeho života a počátečního světelného toku. Světelný tok všech druhů světelných zdrojů klesá s počtem hodin svícení. V Tab. 5.2 jsou uvedeny příklady počtu provozních hodin (hodin svícení) pro řadu pracovišť. Přesné hodnoty však závisí na konkrétním typu světelného zdroje a u výbojových zdrojů rovněž na předřadných obvodech. Ztráty způsobené tímto jevem mohou být sníženy častější výměnou světelných zdrojů, třeba skupinovou výměnou. V Tab. 5.3 jsou uvedeny typické příklady činitelů stárnutí světelných zdrojů. Při stanovení udržovacího činitele a plánu údržby je však velmi důležité získat aktuální údaje od výrobce, zejména v případě použití nových typů světelných zdrojů. Aktuální údaje vždy konzultujte s výrobcem.

Tab. 5.2 Typický počet provozních hodin (hodin svícení) za rok

Činnost	Doba využití		Řízení osvětlení podle denního světla	Počet provozních hodin
	Počet směn	Počet dnů		
<b>Průmysl</b>				
Nepřetržitý provoz	365	24	Ne	8760
	365	24	Ano	7300
Dvě směny	310	16	Ne	4960
6 dnů/týden	310	16	Ano	3720
Jedna směna	310	10	Ne	3100
6 dnů/týden	310	10	Ano	1760
Jedna směna	258	10	Ne	2580
5 dnů/týden	258		Ano	1550
<b>Maloobchod</b>				
6 dnů/týden	310	10	Ne	3100
<b>Úřady</b>				
5 dnů/týden	258	10	Ne	2580
	258	10	Ano	1550
<b>Školy</b>				
5 dnů/týden	190	10	Ne	1900
	190	10	Ano	1140
<b>Nemocnice</b>				
7 dnů/týden	365	16	Ne	5840
	365	16	ano	3504

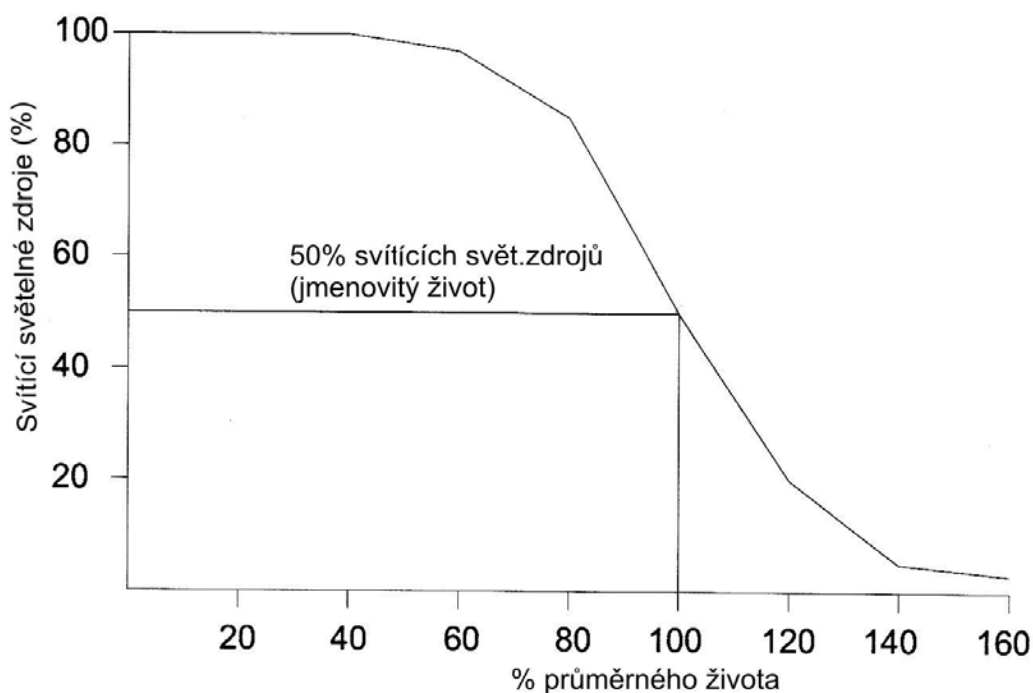
\* Za předpokladu, že je k dispozici odpovídající denní světlo alespoň po dobu poloviny pracovního dne. Vzhledem k tomu, že se množství denního světla na různých místech mění, musí tomu odpovídat i režim vypínání nebo stmívání.

Poznámka:

Časté vypínání a zapínání světelných zdrojů zkracuje jejich život.

## 5.2.2 Činitel funkční spolehlivost světelného zdroje (LSF)

Činitel funkční spolehlivosti světelných zdrojů představuje pravděpodobnost toho, že světelné zdroje budou po určitou dobu v provozu. Charakterizuje část velké reprezentativní skupiny daného typu světelných zdrojů, které po určité době zůstávají v provozu. Počet svítících zdrojů závisí na jejich typu a v případě výbojových zdrojů na četnosti zapínání a na předřadném obvodu. Obvykle je život světelných zdrojů deklarován jako doba v hodinách, kdy ještě 50% zdrojů zkušební souboru zůstává funkční (viz Obr. 5.1). Vyhořelé světelné zdroje způsobují snížení osvětlenosti a její rovnoměrnosti, avšak tento vliv může být minimalizovaný okamžitou výměnou vadných zdrojů. Typické příklady údajů o životě jsou uvedeny v Tab. 5.3. Hodnoty *LSF* by měly být používány ve spojitosti s *LLMF* ke stanovení ekonomického života světelných zdrojů, protože jmenovitý život je často podstatně delší než ekonomický život z hlediska světelného toku. Aktuální údaje vždy konzultujte s výrobcem.



Obr. 5.2 Typická křivka vyhoření světelných zdrojů (statistický soubor lineárních zářivek v režimu 8 zapnutí za 24 hodin)

Tab.5.3 Typické příklady činitele stárnutí světelného zdroje (*LLMF*) a činitele funkční spolehlivost světelného zdroje (*LSF*)

		Rozdíly 1	Doba svícení v tis. h.												
			0,1	0,5	1	2	4	6	8	10	12	15	20	30	
Žárovky obyčejné	<i>LLMF</i> střední		1,00	0,97	0,93										
	<i>LSF</i> velké		1,00	0,98	0,50										
Žárovky halogenové	<i>LLMF</i> velké		1,00	0,99	0,97	0,95									
	<i>LSF</i> velké		1,00	1,00	0,78	0,50									
Zářivky s třípásmovými luminofory	<i>LLMF</i> střední		1,00	0,99	0,98	0,97	0,93	0,92	0,90	0,90	0,90	0,90	0,90		
	<i>LSF</i> střední		1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	0,99	0,98	0,98	0,97	0,94	0,50		
Zářivky s třípásmovými luminofory	<i>LLMF</i> střední		1,00	0,99	0,98	0,97	0,93	0,92	0,90	0,90	0,90	0,90			
	<i>LSF</i> střední		1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	0,99	0,98	0,98	0,92	0,50			
Zářivky s halofosfátovými luminofory	<i>LLMF</i> střední		1,00	0,98	0,96	0,95	0,87	0,84	0,81	0,79	0,77	0,75			
	<i>LSF</i> střední		1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	0,99	0,98	0,98	0,92	0,50			
Kompaktní zářivky	<i>LLMF</i> velké		1,00	0,98	0,97	0,94	0,91	0,89	0,87	0,85					
	<i>LSF</i> velké		1,00	0,99	0,99	0,98	0,97	0,94	0,86	0,50					
Vysokotlaké rtuťové výbojky	<i>LLMF</i> střední		1,00	0,99	0,97	0,93	0,85	0,82	0,80	0,79	0,78	0,77	0,76		
	<i>LSF</i> střední		1,00	1,00	0,99	0,98	0,97	0,94	0,90	0,86	0,79	0,69	0,50		
Halogenidové výbojky (250/400 W) 2	<i>LLMF</i> velké		1,00	0,98	0,95	0,90	0,87	0,83	0,79	0,65	0,63	0,58	0,50		
	<i>LSF</i> velké		1,00	0,99	0,99	0,98	0,97	0,92	0,86	0,80	0,73	0,66	0,50		
Hal.výbojky s keramickým hořákem (50/150 W)	<i>LLMF</i> velké		1,00	0,95	0,87	0,75	0,72	0,68	0,64	0,60	0,56				
	<i>LSF</i> velké		1,00	0,99	0,99	0,98	0,98	0,98	0,95	0,80	0,50				
Vysokotlaké sodíkové výbojky (250/400 W)	<i>LLMF</i> střední		1,00	1,00	0,98	0,98	0,98	0,97	0,97	0,97	0,97	0,96	0,94	0,90	
	<i>LSF</i> střední		1,00	1,00	1,00	1,00	0,99	0,99	0,99	0,99	0,97	0,95	0,92	0,50	
Elektroluminiscenční diody LED 3	<i>LLMF</i> velké		Parametry se mění příliš rychle												
	<i>LSF</i> velké		Parametry se mění příliš rychle												

<sup>1</sup> Charakterizuje rozdíly *LLMF* a *LSF* mezi světelnými zdroji stejné kategorie.

<sup>2</sup> Zvlášť viditelné jsou rozdíly ve skupině halogenidových výbojek. Životy výbojek s velmi vysokým a velmi nízkým příkonem jsou podstatně menší než zde uváděné hodnoty.

<sup>3</sup> Parametry diod LED se mění velmi rychle, takže nelze uvést žádné hodnoty.

Činitele stárnutí světelného zdroje a činitele funkční spolehlivosti jsou ovlivňovány mnoha faktory.

#### 5.2.2.1 Rozdíly mezi jednotlivými typy světelných zdrojů

Různé druhy světelných zdrojů se chovají rozdílně. Např. funkční princip žárovky spočívá ve žhavení vlákna, zatímco u zářivky se jedná o výboj kombinovaný se zařízením luminoforu.

#### 5.2.2.2 Rozdíly mezi světelnými zdroji jednoho typu

I když funkční principy světelného zdroje jednoho typu jsou totožné, neznamená to, že jeho parametry z hlediska údržby jsou shodné. Např. různé firmy vyrábějí několik typů halogenových žárovek pro různé účely a průměrný život se mění mezi 1000 a 5000 hodinami.

#### 5.2.2.3 Rozdíly mezi světelnými zdroji způsobené vnějšími vlivy

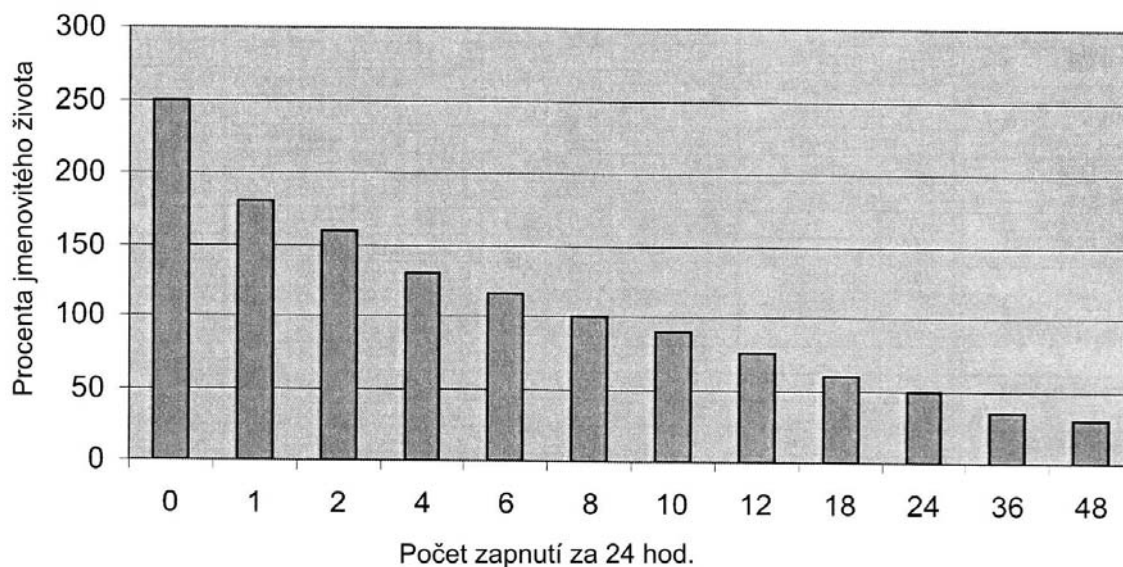
Na parametry světelných zdrojů, důležitých z hlediska údržby, má podstatný vliv mnoho vnějších činitelů, jako poloha svícení, podmínky okolního prostředí, předřadný obvod, četnost zapínání atd.

### 5.2.3 Předřadné a řídicí obvody

Všechny světelné zdroje, kromě žárovek na síťové napětí, vyžadují nějaký druh předřadných obvodů (předřadník, transformátor), které poskytují potřebné napětí anebo omezují jejich proud. Některé světelné zdroje, jmenovitě kompaktní zářivky, mají zabudovaný předřadník, který na konci života jde do odpadu. Většina světelných zdrojů má však oddělený předřadník, který vydrží několik výměn zdroje. Pro zajištění bezpečnosti a spolehlivosti provozu je při výměně světelného zdroje nezbytné se přesvědčit, že jeho náhrada je kompatibilní s předřadníkem. Výrobci svítidel používají magnetické i elektronické předřadníky a jejich výběr by měl být s nimi konzultován. Předřadníky mohou mít stabilní anebo proměnný výstup (stmívání) a mohou být kombinovány s řídicím systémem osvětlovací soustavy. Tyto systémy mohou být spojeny s časovým řízením nebo s detekcí přítomnosti lidí anebo se snímačem denního světla, který světelný zdroj podle potřeby zapíná nebo stmívá. Jak již bylo uvedeno v kapitole 5.2.2, život světelného zdroje vychází z definované četnosti zapínání během 24 hodin. Časté zapínání jeho život zkracuje (viz Obr. 5.3). Studie ukazují, že správné stmívání světelného zdroje nemá nepříznivý vliv na jeho život, v případě žárovek přináší dokonce užitek. Obr. 5.3 a Tab. 5.4 ukazují příklad vlivu předřadného obvodu a četnosti zapínání na život zářivek.



Vliv četnosti zapínání na život zářivek



Obr. 5.3 Příklad vlivu zapínání na život zářivek u obvodu se zpožděným startem

Poznámka: Doutnavkový startér v obvodu by měl být vyměněn při každé výměně zářivky.

Tab. 5.4 Příklad vlivu četnosti zapínání a typu předřadníku na průměrný život lineárních zářivek TLD (T8) a T5. (Poznámka: zářivky T5 používají pouze elektronický předřadník)

Cyklus zapínání	Vysokofrekvenční elektronický předřadník		Běžný (magnetický) předřadník	
	Start s předžhavením	Okamžitý start (bez předžhavení)	Indukční obvod	Duo zapojení (50 % kapacitní, 50 % indukční)
12 h	23 000	19 000	18 000	15 000
8 h	22 000	17 000	16 000	14 000
3 h	20 000	Není k dispozici	15 000	12 000
1 h	16 000	Není k dispozici	12 000	9 000

#### 5.2.4 Udržovací činitel svítidla (LMF)

Udržovací činitel svítidla charakterizuje snížení účinnosti svítidla způsobené nečistotami usazenými na světelných zdrojích a na svítidlech anebo v nich za dané období. Míra snížení závisí na konstrukci svítidla a na povaze a koncentraci nečistot obsažených ve vzduchu. Černé nečistoty a prach způsobují všeobecně největší ztrátu světla. U průmyslových osvětlovacích soustav a při dlouhých intervalech čištění nejsou neobvyklé ani 50% ztráty způsobené znečištěním. Výše ztrát závisí dále na provedení a materiálu svítidla, na jeho povrchové

úpravě a na typu světelného zdroje. Větraná svítidla zachycují méně nečistot, pokud otvory jsou orientovány tak, že konvekční proud vzduchu může unášet prach a nečistoty kolem optických prvků a světelných zdrojů (někdy uváděno jako samočisticí účinek), a zabraňuje tak jejich usazování a hromadění na odrazných a svítících plochách. Ulpívání nečistot na odrazných plochách může být minimalizováno utěsněním té části svítidla, v níž se nachází světelný zdroj, proti vniknutí prachu a vlhkosti. Podstatnou výhodou je, pokud svítidlo a jeho optické části mají krytí alespoň IP54. Povrchová úprava svítidel se liší z hlediska odolnosti proti hromadění nečistot. Např. eloxovaný hliník zůstává čistý po delší dobu než bílý smalt, avšak hliník má poněkud nižší počáteční činitel odrazu. Smalt se však snadněji čistí. Usazování prachu má rovněž vliv na rozložení svítivosti svítidla. To může změnit zrcadlovou plochu reflektoru na matnou anebo prizmatický refraktor na rozptylovač.

### 5.2.5 Udržovací činitel povrchů (RSMF)

Udržovací činitel povrchů je podíl činitele odrazu povrchu místnosti v dané době a počátečního činitele odrazu. Udržovací činitel povrchů může být rovněž definován jako podíl světelné účinnosti prostoru pro danou soustavu po určité době provozu ke světelné účinnosti prostoru téže soustavy, když byla nová anebo po jejím posledním čištění (beze změny poměrného rozložení přímých toků na všechny odrazné povrchy) Udržovací činitel povrchů závisí na rozměrech místnosti, na činitelích odrazu všech povrchů a na rozložení přímého světelného toku instalovaných svítidel. Udržovací činitel povrchů závisí rovněž na povaze a koncentraci prachu přítomného nebo vznikajícího v místnosti. Usazování nečistot na površích místnosti během provozu snižuje využitelné množství odraženého světla. Zatímco pravidelné čištění a malování stěn a stropu je žádoucí u všech soustav, častější čištění a malování by mělo být prováděno v místech, kde velký podíl světla se k místu plnění zrakové úlohy dostává odrazem od povrchů místnosti nebo závěsů, obrazů a nábytku. Čisté povrchy místností napomáhají jasové rovnováze prostředí. V některých zemích je pravidelná obnova nátěrů povrchů místnosti předepsána hygienickými předpisy.

Za předpokladu, že snížení činitele odrazu každého konkrétního povrchu místnosti v čase může být vyjádřeno pomocí níže uvedeného vzorce (Wittig a kol., 1965), lze udržovací činitel povrchů vyhodnotit pro jakýkoliv interval údržby. Pro soubor reálných hodnot  $c$  a  $\tau$  lze hodnoty udržovacího činitele povrchů vypočítat pro velmi čisté, čisté, normální a špinavé prostředí a představit výsledky pro různé činitele odrazu do tabulek právě jako činitele využití osvětlovací soustavy. Pro praktické účely postačuje vydat tabulky pouze pro jednu střední velikost místnosti ( $K = 2,5$ ), avšak alespoň pro tři typy rozložení svítivosti (podíl dolního toku  $DFF = 0,0, 0,5$  a  $1,0$ ) pro intervaly údržby do 6 let. V Tab. 5.5 jsou uvedeny hodnoty konstant  $c$  a  $\tau$ . Hodnoty  $RSMF$  lze samozřejmě stanovit i pro typy svítidel s jinou svítivostí a jiným rozložením světelného toku.

Poznámka: Podíl dolního toku ( $DFF$ ) je podíl dolního světelného toku ( $DLOR$ ) a celkového světelného toku ( $LOR$ ) svítidla.

$$DFF = DLOR/LOR$$

$$\rho(t) = \rho_o \cdot [c + (1 - c) \cdot e^{-t/\tau}], \quad (5.2.5)$$

kde,  $\rho(t)$  činitel odrazu v daném čase  $t$  v letech;  
 $\rho_o$  počáteční činitel odrazu;  
 $c, \tau$  konstanty charakterizující proces usazování prachu.

Tab. 5.5 Tabulka hodnot konstant  $C$  a  $\tau$

Prostředí	Strop $C_c$	Stěny $C_w$	Podlaha $C_f$	$\tau$ (vztaženo na dobu v letech)
Velmi čisté	0,96	0,85	0,85	6/12
Čisté	0,92	0,84	0,70	5/12
Normální	0,83	0,70	0,50	4/12
Špinavé	0,70	0,45	0,30	3/12

Poznámka: Údaje o údržbě jsou obvykle vydávány ve formě tabulky. Často je však výhodné uvádět tyto údaje v grafické formě.

### 5.3 Udržovací činitel

Udržovací činitel je definován jako podíl osvětlenosti vytvářené osvětlovací soustavou po určité době a osvětlenosti vytvářené soustavou když je nová.

$$\text{Udržovací činitel } MF = E_m / E_{in} \quad (5.3.1)$$

kde,  $E_m$  udržovaná osvětlenost;  
 $E_{in}$  počáteční osvětlenost.

Výpočtem udržovacího činitele v různých časových okamžicích a s ohledem na navržený plán údržby lze předpovědět rozložení osvětlenosti od osvětlovací soustavy po dané době.

Udržovací činitel je součinem výše popasaných činitelů.

$$\text{Udržovací činitel } MF = LLMF \times LSF \times LMF \times RSMF \quad (5.3.2)$$

kde,  $LLMF$  činitel stárnutí světelného zdroje;  
 $LSF$  činitel funkční spolehlivosti světelných zdrojů  
(používaný pouze pro skupinovou výměnu);  
 $LMF$  udržovací činitel svítidla;  
 $RSMF$  udržovací činitel povrchů.

#### 5.3.1 Použití udržovacího činitele (MF)

Aby již při návrhu osvětlení bylo vzato v úvahu znehodnocení soustavy, nutno patřičný udržovací činitel zahrnout do všech výpočtů. Hodnota udržovacího činitele významně ovlivňuje počet svítidel, nezbytných k zajištění stanovené osvětlenosti. Vysoké hodnoty udržovacího činitele jsou výhodné a mohou být dosaženy pečlivým výběrem zařízení a rozhodnutím čistit častěji osvětlovací soustavu. ISO 8995/CIE S 008-2001 doporučuje vybraná řešení, aby udržovací činitel neklesl pod 0,7.

Udržovací činitel lze použít ve výpočtu osvětlenosti tokovou metodou při stanovení průměrné osvětlenosti od osvětlovací soustavy v určitém čase jejího života. Toho se dosáhne použitím následujícího vzorce:

$$E_m = \frac{\Phi \times n \times N \times UF \times MF}{A}, \quad (5.3.3)$$

kde,  $E_m$  udržovaná osvětlenost (lx);  
 $\Phi_{in}$  počáteční světelný tok světelného zdroje (lm);  
 $n$  počet světelných zdrojů ve svítidle;  
 $N$  počet svítidel;  
 $A$  osvětlovaná plocha (m<sup>2</sup>);  
 $UF$  činitel využití svítidla v místnosti;  
 $MF$  udržovací činitel.

Poznámka: Tento výraz nepočítá se znehodnocením způsobeným nevratnými ztrátami.

Udržovací činitel nutno používat ve všech vzorcích používaných při výpočtech osvětlovací soustavy, např. při stanovení diagramu rozložení jasu nebo diagramu rozložení osvětlenosti bodovou metodou.

Za povšimnutí stojí, že zde diskutované udržovací činitele a změny osvětlenosti, uvedené na Obr. 5.1, vycházejí z pevné napájecí soustavy. Stále častěji se však používají řízené elektronické předřadníky, které umožňují zajistit konstantní osvětlenost od osvětlovací soustavy. V těchto soustavách je znehodnocení někdy kompenzováno zvýšením příkonu světelných zdrojů a tím i jejich světelného toku. Zkušenosti s údržbou takových nedávno instalovaných řízených soustav se teprve získávají, takže přesnější údaje nelze nabídnout. Doporučuje se provádět údržbu v okamžiku, kdy 50% světelných zdrojů je v provozu na plný výkon.

### 5.3.2 Projekt údržby

Při projektování osvětlovacích soustav lze často volit komponenty, systémy a povrchové úpravy snižující náklady na údržbu na minimum:

- volbou svítidel, v nichž se světelný zdroj nachází v prostoru chráněném před prachem pomocí vhodného těsnění umožňujícího svítidlu dýchat, aniž by nasávalo prach;
- použitím otevřených svítidel (samočisticí typ), u nichž jsou konvekční proudy tepla vydávaného světelnými zdroji usměrněny tak, že proudí kolem odrazných povrchů a brání tak usazování prachu;
- použitím klimatizovaných svítidel, u nichž nucené větrání pomáhá odstraňovat prach a nečistoty;
- použitím pouze takových optických systémů, které jsou vhodné pro převažující okolní podmínky; např. žaluzie z plastů nejsou vhodné do prašných míst;
- omezením počtu různých variant v osvětlovací soustavě;
- použitím svítidel majících málo komponentů, s nimiž (pokud to obsluha vyžaduje) lze snadno manipulovat anebo se dají při opravě vyjmout mimo svítidlo;
- použitím povrchových úprav způsobujících, že plochy zůstávají po dlouhou dobu čisté anebo se snadno čistí;

- použitím reflektorů nebo nestíněných lištových svítidel místech přilnavých nebo mastných nečistot.

Dalšími způsoby, jak projektant může usnadnit údržbu a zlepšit tak její efektivnost, jsou:

- plánování snadné údržby – s ohledem na přístup ke svítidlům, typy nástrojů nezbytných pro obsluhu, zajištění dostupnosti náhradních světelných zdrojů, optických soustav a svítidel. Výhodné je rovněž navázání kontaktu s pracovníkem údržby, aby včas porozuměl požadavkům a postupům;
- příprava komplexního plánu údržby s návody;
- organizace efektivního poučení se z chyb, závad nebo potíží a zabránit tak jejich opakování v budoucích projektech.

### 5.3.3 Udržitelný rozvoj na zemi ve vztahu k osvětlovací technice

Stále více zemí na světě zavádí do své legislativy podporu udržitelnosti a tato pravidla ovlivňují volbu způsobů elektrického osvětlení a jeho provoz. Tato kapitola poskytuje stručný pohled na úvahy o udržitelnosti ve vztahu k elektrickým osvětlovacím soustavám.

Elektrická osvětlovací soustava má významný vliv na udržitelnost. Světlo představuje podstatný předpoklad pro zachování života a zdrojů na naší planetě. Přístup vycházející z principu udržitelnosti rozvoje zajistí potřeby současné generace bez ztrát nebo omezení schopnosti zajistit potřeby generací budoucích. Princip udržitelnosti může být realizován prostřednictvím návrhu výrobku a výběrem nebo použitím odpovídajícího řešení osvětlení. Tyto postupy mohou být rovněž charakterizovány jako návrhy ekologické anebo návrhy šetrné k okolnímu prostředí.

Ideální z hlediska principu udržitelnosti je návrh osvětlení s neomezeným životem. Ten může být realizován pomocí výrobků, postupů nebo systémů, které lze vyrobit a trvale používat. Toto ideální uspořádání znamená věčné znovu používání výrobků bez plýtvání energií, materiály a bez emisí.

Ekologický projekt znamená navrhnout osvětlení se zřetelem na úplný životní cyklus. Životní cyklus zahrnuje celkový život výrobku nebo systému, počínaje pořízením materiálu, jeho zušlechtním, přes výrobu, instalaci, použití, údržbu a likvidaci. Volba takového pojetí životního cyklu zmírní vliv daného řešení na životní prostředí v průběhu života, počítaje v to všechny materiály, energii a podstatné z hlediska životního prostředí produkty používané resp. vznikající během životního cyklu.

Projekt šetrný k životnímu prostředí souvisí hlavně s rozebráním a recyklací světelně technického výrobku nebo řešení na konci jeho užitečného života.

Respektování těchto tří složek projektu přinese nejlepší řešení vybraného, instalovaného a provozovaného osvětlení z hlediska principu udržitelnosti.

### 5.3.4 Výpočet udržovacího činitele dle ČSN EN 12464-1 [6]

Udržovací činitel se doporučuje stanovit výpočtem. Při výpočtu se udržovací činitel počítá součinem z dílčích samostatných činitelů. Těmito dílčími činiteli, (viz výše uvedených) jsou zejména činitel stárnutí světelných zdrojů, činitel znečištění svítidel, činitel funkční

spolehlivosti světelných zdrojů a činitel znečištění odrazných ploch. Činitel znečištění odrazných ploch přitom není v celém prostoru konstantní, ačkoliv pro zjednodušení je tak většinou uvažován. Dalšími činiteli, které mají vliv na udržovanou osvětlenost, ale ve většině případů se jejich vliv zanedbává, jsou například činitel napětí a činitel teploty.

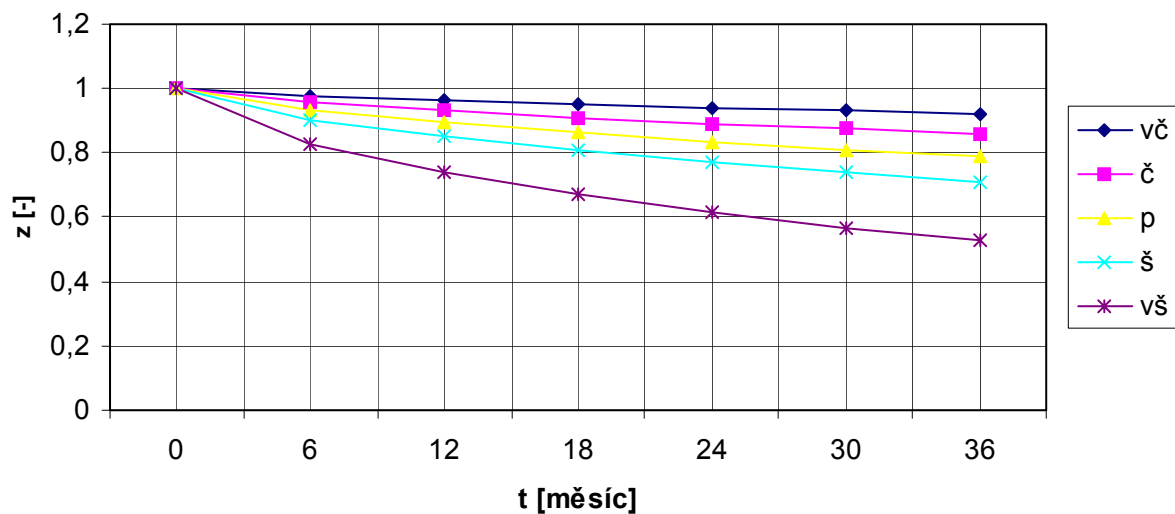
Projektant musí uvést všechny použité předpoklady ke stanovení udržovacího činitele. Výrobci světelných zdrojů a svítidel musí poskytovat technická data potřebná ke stanovení udržovacího činitele.

Udržovací činitel  $z$  se stanoví jako součin dílčích činitelů:

$$Z = Z_z \cdot Z_s \cdot Z_p \cdot Z_{fz} \quad (5.3.4)$$

kde,  $z_z$  činitel stárnutí světelných zdrojů;  
 $z_s$  činitel znečištění svítidel;  
 $z_p$  činitel znečištění ploch osvětlovaného prostoru;  
 $z_{fz}$  činitel funkční spolehlivosti světelných zdrojů.

Na následujícím obrázku je uveden příklad průběhů činitelů údržby podle výše citované normy.



Obr. 5.4 Činitel znečištění svítidel pro kategorii svítidel I (žádný kryt v horní a dolní části svítidla)

Poznámka:

Dle ČSN EN 12464-1 se prostory z hlediska čistoty dělí na prostory velmi čisté, čisté, průměrné, špinavé a velmi špinavé. Dle směrnice CIE 97-2005 se prostory dělí na velmi čisté, čisté, normální a špinavé.

## 6. Ověřování kvalitativních a kvantitativních parametrů osvětlovacích soustav

### 6.1 Měření osvětlovacích soustav [13]

Nejlepší způsob, jak ověřit kvalitativní a kvantitativní parametry osvětlovacích soustav, je provést měření. Měření parametrů osvětlení slouží k objektivnímu vyhodnocení jeho kvality. Měření denního osvětlení se ověřují počáteční podmínky před rekonstrukcí umělé osvětlovací soustavy. Ověřuje se, zda byly splněny podmínky osvětlení při realizaci stavby (v rámci kolaudace, případně před uvedením do trvalého provozu). Nebo se měření ověřují podmínky osvětlení při užívání stavby (v rámci sledování, zda osvětlovací soustava není na konci doby života a zda je zapotřebí generální údržba) nebo při stížnostech. Měření se používá ke zjištění podmínek zrakové práce při dozoru hygienické služby na pracovištích, ve školách a v dalších prostorech. Existují také postupy měření osvětlení v laboratorním prostředí (např. na modelech) a na dopravních komunikacích.

#### 6.1.1 Typy měření osvětlení

Měření podle požadované přesnosti dělíme na:

- **přesné měření** - nejistota měření je do 8 %,
- **provozní měření** - nejistota měření je do 15 %,
- **orientační měření** - nejistota měření je do 20 %.

Podle rozsahu dělíme měření na:

- **podrobné měření** - pro náročné posouzení prostoru, při soudních sporech nebo při analýze osvětlení složitých zrakových činností,
- **provozní měření** - pro ověřování správnosti navržených a realizovaných systémů osvětlování, pro porovnání systémů osvětlování a pro zjištění zrakové pohody (nejpoužívanější typ),
- **orientační měření** - pro zjištění základních podmínek vidění a pro orientační kontrolu osvětlení.

#### 6.1.2 Přístrojové vybavení

Pro měření osvětlení jsou základními přístroji luxmetr a jasoměr. K luxmetru je vhodný jasový nástavec. Kromě nich jsou potřebné i měřiče délek a vzdáleností (metr, měřicí pásma, měřicí kolečko, elektronický dálkoměr apod.), střídavý voltmetr, měřič teploty, úhloměr (sklonoměr), držák fotonky luxmetru, stojan k jasoměru s úhloměry a případně nástavce k luxmetru pro měření válcové či kulové osvětlenosti. U přístrojů je nutné zajistit pravidelnou údržbu a před měřením kontrolu funkce. Při poruše pak posoudit její vliv na výsledky měření a pokud ji lze odstranit tak měření opakovat. Při větších poruchách nebo při podezření na špatný údaj přístroje je nutné zajistit odborný servis a následnou kalibraci.

## Luxmetr

Je to přístroj pro měření intenzity osvětlení. Snímačem je fotonka a vyhodnocovacím přístrojem analogový nebo digitální mikroampérmetr, který je kalibrován v jednotkách intenzity osvětlení v [lx]. U běžných luxmetrů se nyní nejčastěji používají fotonky na bázi křemíku. Dříve byly na bázi polykrystalického selenu, které byly málo časově i teplotně stabilní.

Použití analogových přístrojů je vhodné při kontrole tolerancí a změn intenzity osvětlení. Odečítání je však méně přesné a může docházet k velkým chybám, zvláště při odečítání v první třetině stupnice přístroje. Digitální přístroj je vhodnější pro přesnější a snadnější odečítání. Na nižších intenzitách - nižších číselných ukazatele - z důvodu kolísání světelného toku světelných zdrojů vzniká také větší chyba. Při kolísání údaje na displeji je nutné zrakem odhadnout jeho střední hodnotu.



## Jasoměr

Přístroj pro měření jasu. Snímačem je zde zase fotonka a vyhodnocovacím přístrojem analogový nebo digitální mikroampérmetr, který je kalibrován v jednotkách jasu v [cd/m<sup>2</sup>]. Fotonky jsou na podobném principu jako u luxmetrů. Celý přístroj je doplněn optikou se zaostřováním, která vymezuje zorný úhel (zorné pole) ze kterého dopadá na fotonku světelný tok a optikou hledáčku na sledování místa měření s vyznačeným zorným polem.



### 6.1.3 Obecný postup měření

#### **Stanovení rozsahu a postupu měření (výběr typických prostorů, pracovišť a typu měření, volba srovnávacích rovin a rozmístění kontrolních bodů)**

Kontrolní body se rozmísťují tak, že se měřená plocha (místnost, pracoviště, pracovní plocha) rozdělí na pravidelnou síť pravouhlých dílčích ploch, ve srovnávací rovině (nejčastěji je vodorovná). Plochy by měly být čtvercové nebo obdélníkové, ale blízké se čtverci. Kontrolní body se potom volí ve středu těchto ploch. Předpokládá se, že takto změřená intenzita osvětlení v kontrolním bodě je průměrnou hodnotou na příslušné dílčí ploše. Proto je velice důležitá volba velikosti těchto ploch.



Tento postup je nutný pro výpočet průměrné hodnoty denního i umělého osvětlení, provedený aritmetickým průměrem. U úzkých prostorů se připouští řada bodů v ose místnosti (řada dílčích ploch) a nebo na malých plochách jeden bod v jejich středu (uvažuje se jedna dílčí plocha). Rozmístění kontrolních bodů je takové, že jejich vzdálenost od okraje vytyčené kontrolované plochy je polovinou jejich rozteče v příslušném směru. U měření denního osvětlení v místnosti se požaduje vzdálenost od zdi 1 m. Uvedené normy pro měření osvětlení požadují rozteče kontrolních bodů při měření v místnostech nebo na pracovištích od 0,5 m až do 6 m. Na pracovních místech i menší (min. však 20 cm). U měření denního osvětlení závisí rozteče na umístění a poloze osvětlovacích otvorů a u umělého osvětlení na umístění a výšce svítidel.

Při měření osvětlení pracovních míst se zvolí kontrolní body na pracovní ploše. Podle její velikosti a nerovnoměrnosti osvětlení buď zase v síti bodů, v řadě bodů nebo v jednom bodě.

Ve vnitřních prostorech s odstupňovaným osvětlením se volí více sítí kontrolních bodů tak, aby pokryly jednotlivé části prostoru.

U symetrických prostorů a prostorů s opakujícími se podobnými podmínkami osvětlení (stejná okna se stejnou roztečí, stejná svítidla se stejnými roztečemi atd.) lze redukovat síť kontrolních bodů. Lze měřit v síti v typické části prostoru, u denního bočního osvětlení v řadě bodů kolmé k okenní stěně (v ose okna, v ose pilíře, u boční stěny a pod.).

Výšky horizontálních srovnávacích rovin jsou stanoveny pro:

- komunikační prostory do 0,2 m,
- předškolní zařízení 0,45 m,
- měření denního osvětlení v běžných místnostech 0,85 m.

Orientace fotonky a výšky srovnávacích rovin jsou určeny i u sportovišť a některých dalších měření (nouzové a bezpečnostní osvětlení atd.)

V ostatních případech, kde není požadována konkrétní výška, se volí tak, aby srovnávací rovina obsahovala alespoň většinu podstatných míst zrakové činnosti. Pokud se zraková činnost provádí v různých a těžko definovatelných místech, používá se referenční srovnávací rovina např. vodorovná rovina ve výšce 85 cm nad podlahou.

V případě sdruženého osvětlení se měří složka denního a umělého samostatně.

### **Záznam údajů týkajících se měření a majících vliv na jeho výsledek**

Použité přístroje, použité metodiky měření, popis prostoru, popis osvětlovacích soustav, jejich stavu a čistoty, popis stínících a odrazných prvků, popis rozmístění kontrolních bodů, popis zrakové práce a případně zdrojů oslnění. Rozsah záznamu údajů je dán požadavkem na obsah protokolů, který je v normách ČSN 36 0011-1 až 3. Dále je nutné zaznamenat podmínky umožňující zvýšení či snížení požadavků na osvětlení (činitel odrazu místa úkolu, věk většiny pracovníků, pracovní dobu, vliv dalších faktorů na zrakovou činnost a osvětlení - velká prašnost, hlučnost a jiné.) Je výhodné užívat pro dokumentaci jasovou kameru nebo digitální fotoaparát.

## Obecné požadavky na měření

- Při měření osvětlení musí být stav prostoru a osvětlení stejný jako při běžném užívání.
- Měření se provádí bez přítomnosti pracovníků na pracovištích. Pouze vyjímečně v jejich přítomnosti. Je to ale zapotřebí poznamenat do protokolu.
- Před měřením musí pracovník zkontrolovat čistotu a funkčnost měřidla.
- Před zapnutím se musí měřidlo nechat temperovat.
- Měřidlo se musí zapnuté ponechat nějaký čas stabilizovat při intenzitě osvětlení, při které se bude měřit.
- Fotonku nesmí stínit pracovník provádějící měření ani nesmí být jiné netypické zastínění. Na fotonku nesmí dopadat světelný tok z jiného zdroje, který nepatří k posuzované osvětlovací soustavě.
- Fotonka musí být umístěna v kontrolním bodě v horizontální, šikmé nebo vertikální srovnávací rovině co nejpřesněji podle požadovaného typu a druhu měření bud'. Pokud se v místě kontrolního bodu vyskytuje nějaká malá překážka, lze v rámci dílčí plochy posunout fotonku mimo její střed. Při větších překážkách se příslušný kontrolní bod vynechá a pokud to je nutné, provede se případně lineární aproximace ze sousedních naměřených hodnot. Chyba takto vzniklá je závislá na umístění a druhu použitých svítidel a odraznosti překážky.
- Při měření se musí kontrolovat poloha čidla, aby jeho základna byla paralelní se srovnávací rovinou (u horizontální srovnávací roviny se kontroluje vodováhou).
- Odečet naměřené hodnoty lze udělat až po jejím ustálení.
- Při měření jasu musí být v zorném poli (dané zorným úhlem jasoměru) pouze měřený předmět. Na měřený předmět se musí jasoměr zaostřit.
- Při měření jasů v zorném poli pracovníka se jasoměr nastaví tak, aby poloha a výška odpovídaly poloze i výšce očí a směru pohledu pracovníka.
- Při posuzování jasů v zorném poli se uvažuje vrcholový úhel kuželu s vrcholem v místě sítnice oka a osou ve směru pohledu:
  - do 20° pro pozorovaný předmět (místo zrakové práce (úkolů)),
  - od 20° do 40° pro blízké okolí místa zrakové práce,
  - od 40° do 120° pro vzdálené okolí místa zrakové práce,
  - nad 120° pro pozadí.
- Měření jasů na plochách v zorném poli pracovníka se provádí:
  - v jejich středu, pokud jsou malé,
  - v pravidelné síti bodů u větších ploch (průměrný jas je pak aritmetický průměr z naměřených hodnot).
- Po zjištění pochybného údaje se musí měřicí přístroj zkontrolovat a pokud se podaří menší závadu odstranit, zopakovat měření. Větší závady však nechat opravit ve specialisovaném servisu nebo u výrobce a potom zajistit novou kalibraci přístroje.
- Při určování činitele odrazu světla, pokud je zřejmé, že nebude po celé sledované ploše rovnoměrný, se musí použít plošně vážený průměr jeho zjištěných dílčích hodnot.

Rozsah a postup měření závisí na požadovaném typu a požadované přesnosti. Stanovují je normy ČSN 36 0011-2 (Měření denního osvětlení) a ČSN 36 0011-3 (Měření umělého osvětlení).

## **Zpracování výsledků měření**

Podle uvedených norem a na základě požadavku přesnosti měření (velikosti nejistoty měření) se provádí tyto korekce: Podle kalibrační křivky, podle druhu světla (zářivkové, výbojkové, denní atd.). U měření denního osvětlení korekce jasu podle venkovní osvětlenosti a u měření umělého osvětlení korekce na napětí v elektrické síti, případně i korekce na teplotu.

## **Vyhotovení protokolu**

Výsledky měření denního i umělého osvětlení se zpracovávají v protokolu, jeho struktura i rozsah jsou dány typem měření (podrobné, provozní, přesné). Požadované údaje pro protokol z měření denního a umělého osvětlení jsou uvedeny v normách ČSN 36 0011-1 až 3.

- Hodnoty v protokolu se zpracovávají v tabulkách, případně je lze připsat do výkresu prostoru k vyznačeným kontrolním bodům.
- Při zpracování je vhodné použít grafy nebo dokumentovat rozložení světelných veličin v ploše izočarami (izoluxy, izočáry jasů, izočáry kontrastu jasů).
- Pro lepší definování jasu ploch v zorném poli je výhodné využívat zakreslení naměřených hodnot do fotografií.

Uvedené druhy zpracování se užívají podle potřeby tak, aby protokol dostatečně a přehledně popsal situaci a umožnil správné zhodnocení osvětlení.

### **6.1.4 Měření umělého osvětlení**

#### **Příprava měření umělého osvětlení**

Měření umělého osvětlení lze provádět u nových osvětlovacích soustav až po 100 hodinách provozu (u zářivkových i výbojkových svítidel) a 10 hodin u žárovkových svítidel, kdy dojde k ustálení světelných poměrů.

Před měřením musí být osvětlovací vysokotlaké výbojkové soustavy zapnuty min. 20 minut a zářivkové soustavy min. 15 minut, aby došlo ke stabilizaci jejich světelného toku.

Při určení sítě dílčích ploch je nutné brát v úvahu umístění svítidel a volit je tak, aby se kontrolní body pokud možno nacházely střídavě pod svítidly a mezi řadami svítidel.

#### **Postup měření umělého osvětlení**

Měření umělého osvětlení se provádí luxmetrem, bez přítomnosti denního světla. Buď po setmění oblohy nebo při úplném zaclonění osvětlovacích otvorů (tím se ale poněkud změní podmínky odrazu vnitřních ploch). Měření při denním osvětlení lze provádět pouze vyjíměčně a orientačně. Postup měření je popsán v normě ČSN 36 0011-3.

Pro různé druhy osvětlení (normální, pomocné, bezpečnostní, poruchové, doplňující či technologické) se měření provádí samostatně.

Měří se v síti kontrolních bodů, v požadované srovnávací rovině, v celé ploše místnosti (příp. ploše pracoviště). Při velkých plochách, kde se světelná situace stále opakuje (stejná svítidla,

stejně rozmístěná, ve stejné výšce, stejné odrazné plochy atd.), lze provést měření v typické části prostoru (příp. pracoviště), protože průměrná hodnota je téměř stejná.

Souběžně s intenzitou umělého osvětlení je potřebné měřit i napětí ve světelném rozvodu co nejbližší ke svítidlům. Pro podrobné a přesné měření je to nutné, pro provozní doporučené a pro orientační měření se používá údaj sdělený energetikem. Pokud se více liší napětí v el. síti od hodnoty běžné v době využívání, provede se přepočítání na tuto hodnotu podle vztahu v normě ČSN 36 0011-3. Napětí měříme buď registračním voltmetrem nebo číslicovým voltmetrem se záznamem do paměti. Lze také provádět souběžný odečet s hodnotami intenzity osvětlení (podobně jako se měří denní osvětlení). Problém však je, že osvětlovací soustavy nejsou často napájeny jen z jedné fáze a není zřejmé, kterou pro korekci vzít v úvahu. Proto jsou vhodné třífázové voltmetry a bere se pro korekci napětí té fáze, kde dochází k větším změnám. Napětí je nutné kontrolovat i v případě orientačního nebo provozního měření osvětlení a to z důvodu, že zvláště v průmyslových provozech může během měření dojít k zapnutí nějakého spotřebiče s vyšším odběrem el. energie a tím k poklesu síťového napětí a následně k poklesu světelného toku svítidel. Potom by zjištěná intenzita v jedné skupině kontrolních bodů nebyla změřena za stejných podmínek jak ve zbývajících bodech a měření se musí opakovat.

Pro podrobné a přesné měření je nutné i měření teploty v okolí svítidel. Na teplotě je závislý světelný tok zdrojů. Přepočítání se provádí pouze při výskytu atypické situace. Pokud teplota je stejná jako při běžném provozu svítidel, uvádí se do protokolu pouze pro informaci.

Vzhledem ke zvýšení přesnosti by mělo být měření opakováno ve stejných kontrolních bodech vícekrát a výsledky by měly být zpracovány statistickými metodami.

Při měření na pracovních místech se kontrolní body umístí opět v síti tak, aby naměřené hodnoty dobře vystihly nerovnoměrnost intenzity umělého osvětlení. To je zvláště nutné při místním osvětlení pracoviště. Pokud je pracoviště osvětleno dostatečně rovnoměrně, lze použít u menších ploch i měření v jednom bodě uprostřed plochy, kde se provádí zřetěvovací práce. Když je plocha úzký obdélník, používá se řady rovnoměrně rozmístěných bodů v její delší ose.

U kombinovaného osvětlení (místní + celkové) se změří ještě hodnota celkového osvětlení (při vypnutém místním).

## **Měření jasů**

Měření jasů se provádí buď za účelem:

- Zjištění činitele odraznosti povrchů s difúzním odrazem světla

To lze provádět nejlépe luxmetrem s jasovým nástavcem umístěným kolmo k měřené ploše v takové vzdálenosti, aby nedošlo k zastínění měřené plošky. Intenzita umělého osvětlení na ní se změří pak luxmetrem v jejím středu. Ze získaných hodnot se potom vypočítá činitel odrazu plochy.

- Zjištění rozložení jasů v zorném poli pracovníka

Při tomto měření je jasoměr umístěn na stativu v místě, kde se při práci nachází zrakový orgán pracovníka. Naměřené hodnoty se vyznačí na fotografii nebo na perspektivním nákresu tohoto

místa. Jasová kamera se přitom dá do přibližně stejného místa jako jasoměr. Hodnoty lze uvést do tabulky, ale musí se zaznamenat vertikální i horizontální úhel jasoměru při kterém byly naměřeny.

- Zjištění jasu světelných zdrojů (primárních i sekundárních)

Zde se provádí měření jasoměrem buď v jednom bodě, pokud se viditelná velikost průmětu světelného zdroje blíží velikosti snímaného prostorového úhlu jasoměru. V zorném poli musí být pouze měřená plocha a jasoměr musí být na ní zaostřen. Pokud toto nelze, zdroj je větší a nelze již zvětšit zorný úhel jasoměru, musí se měřit ve více bodech tak, aby jednotlivá zorná pole jasoměru pokryla měřený předmět. Z těchto hodnot se potom spočítá aritmetický průměr. Pokud je průmět zdroje menší, musí se použít menší zorný úhel jasoměru.

### Měření umělého osvětlení na venkovních pracovištích

Měření umělého osvětlení na venkovních pracovištích se provádí podobným způsobem jak u vnitřních pracovišť. Jen se musí předem definovat velikost pracovní plochy, kde se provádí zřaková práce. Rozmístění bodů v této ploše se provede obdobně, jak bylo popsáno pro vnitřní prostory. Některá pracoviště mají v normách předepsáno rozložení kontrolních bodů např. při měření na železničních prostranstvích, venkovních sportovištích a pod.

### Hodnocení měření

Z naměřených hodnot intenzit umělého osvětlení v síti kontrolních bodů se zjistí minimální  $E_{min}$ , maximální  $E_{max}$  a vypočítá průměrná hodnota  $\bar{E}$  i rovnoměrnost umělého osvětlení (podíl minimální a průměrné osvětlenosti). Při hodnocení se potom hodnoty porovnávají s normovými limity ( $\bar{E}_m$ ) a tím se zjistí, zda v době měření osvětlení vyhovovalo. Stanovení vhodnosti osvětlovací soustavy se musí udělat buď výpočtem osvětlení nebo změřením soustavy osvětlení v počátečním stavu. Potom následuje porovnání zjištěné průměrné hodnoty s hodnotou  $\bar{E}_i$ , což je hodnota počáteční průměrná osvětlenost. Tyto hodnoty v normách nejsou uvedeny a musí se zjistit z poměru  $\bar{E}_m / z$ , kde  $z$  je udržovací činitel osvětlovací soustavy. Ten se buď zjistí s projektové dokumentace (je uveden ve výpočtu umělého osvětlení) nebo musí měřič, pro skutečné podmínky, udělat výpočet sám. Barevnost (chromatičnost) světla a barevné podání se posuzuje podle údajů výrobců světelných zdrojů.

### Protokol z měření

V protokolu z měření se musí uvádět kromě již uvedených věcí v obecných podmínkách i stav osvětlovací soustavy, druh a rozmístění svítidel, druh použitých světelných zdrojů, nesvítící světelné zdroje, čistota osvětlovací soustavy, čistota a druh odrazných ploch, druh el. rozvodu, popis místa zřakové práce a případné zdroje oslnění. Dále by měli být v protokolu zaznamenány všechny podstatné vlivy, které se při měření uplatnily (stav el. sítě, nesvítící světelné zdroje a pod.). Je nutné i uvádět intervaly údržby (čištění svítidel, výměnu světelných zdrojů, čištění - malování velkých odrazných ploch) a datum poslední údržby.

### Měření dalších parametrů osvětlení

- **Odraznost ploch** - činitel odraznosti povrchů s rovnoměrným odrazem světla (lesklé plochy takto nelze posuzovat) se zjistí ze vztahu:

$$\rho \cdot E = \pi \cdot L, \quad (6.1.1)$$

kde,  $E$  - intenzita osvětlení na posuzované ploše;  
 $L$  - jas posuzované povrchu;  
 $\rho$  - činitel odraznosti.

Při měření nesmí dojít k zastínění měřeného povrchu pracovníkem provádějícím měření. Při posuzování činitele odraznosti větších ploch se musí předpokládat, že mohou být různě znečištěné a tak se provede stanovení v kontrolních bodech rovnoměrně umístěných po ploše a aritmetický průměr těchto hodnot lze uvažovat jako střední činitel odraznosti.

Činitel odraznosti lze zjistit i porovnávací metodou, kdy se změří jas kontrolované plošky a pak jas normálového povrchu o známém činiteli odraznosti. Činitel odrazu kontrolované plošky je úměrný poměru jejího jasu ku jasu normálové plošky násobeného činitelem odrazu normálu.

- **Činitel prostupu světla**

*Difuzní činitel prostupu* se zjistí z podílu změřené intenzity luxmetrem přiloženým na zasklení osvětlovacího otvoru zevnitř ku intenzitě na stejném místě při otevřeném osvětlovacím otvoru. Kontrolní místo musí být identické a musí být zajištěna stejná horizontální venkovní intenzita osvětlení. Lze to přepočtem naměřených hodnot na její stejnou velikost.

*Prímý činitel prostupu* se zjistí z podílu změřeného jasu oblohy nebo jiného pozadí, jasoměrem umístěným kolmo k zasklení, ku jasu ve stejném kontrolním bodě bez zasklení (otevřené okno apod.).

- **Činitel znečištění:**

Měření se provádí podobným způsobem jako u činitele prostupu světla (difúzního nebo normálového). Provádí se měření:

- při zasklení očištěném zvenku,
- při zasklení očištěném zevnitř.

Podíl zjištěné hodnoty ku hodnotě oboustranně vyčištěného zasklení udávají v prvním případě vnější činitel znečištění a ve druhém případě vnitřní činitel znečištění. Celkový činitel znečištění je pak součin obou hodnot.

U svítidel se měří intenzita osvětlení v kontrolním bodě pod svítidlem nebo jas svítidla před vyčištěním a na tom samém místě po vyčištění. Poměr těchto hodnot udává činitel znečištění svítidla. Předpokladem je měření za stejných podmínek (stejně síťové napětí atd.).

- **Měření prostorových parametrů osvětlení**

K měření těchto parametrů osvětlení se používají také luxmetry, ale opatřené nastavci pro měření válcové a kulové osvětlenosti. Při měření světelného vektoru se potom používá buď speciálního čidla vybaveného až šesti fotonkami, které musí mít stejné vlastnosti, nebo lze však použít jednu fotonku, kterou musíme natáčet při měření válcové osvětlenosti ve čtyřech (na sebe kolmých) vertikálních rovinách. U kulové osvětlenosti a u světelného vektoru pak natáčením v šesti rovinách podle povrchu fiktivní krychle.

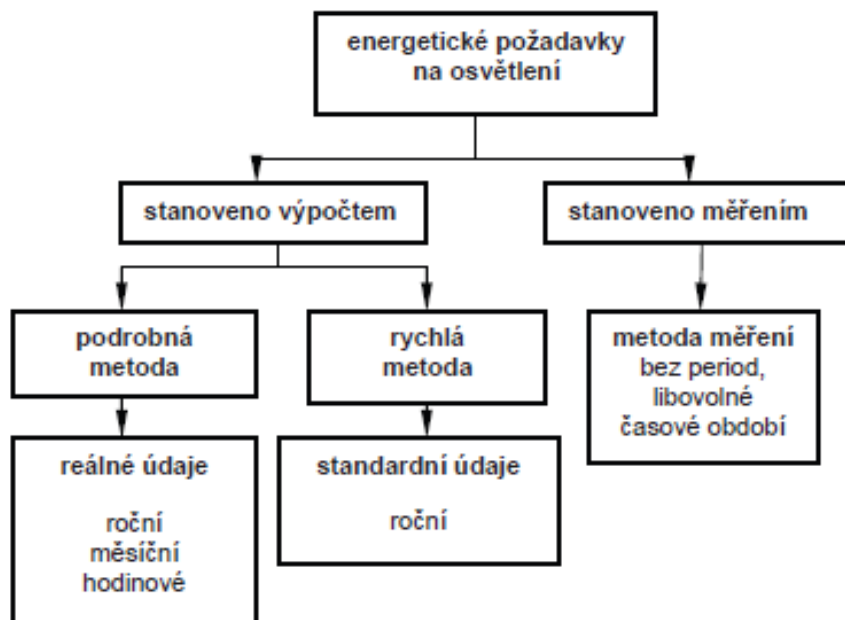
Kontrolní bod při měření kulové (sférické) nebo válcové (cylindrické) osvětlenosti a světelného vektoru se umísťuje vždy 1,2 m (sedící osoba) nebo 1,5 m (stojící osoba či sedící osoba ve vozidle) nad podlahou. Pro posouzení místnosti pak uprostřed její délky i šířky ve vzdálenosti 1 m od stěn.

### 6.1.5 Autorizace osob k měření

Při hodnocení energetické náročnosti budov musí být dodrženy obecné technické požadavky na výstavbu. Z toho požadavku vyplývá, že při hodnocení energetické náročnosti osvětlovací soustavy je třeba, aby stávající nebo navrhovaná osvětlovací soustava splňovala světelně technické požadavky pro využití daného prostoru. Dokladem o vyhovujícím osvětlení může být vyjádření hygienika, projektová dokumentace apod. V případě, že žádný doklad neexistuje, je vhodné požádat o zhodnocení osvětlení v posuzovaném objektu autorizovanou osobou. Případné informativní měření provedené auditorem má povahu pouze nezávazné informace a nelze ho zaměňovat za měření osvětlenosti, které odpovídá příslušné normě ČSN 36 0011 provedené autorizovanou osobou. [17]

## 7. Ověřování energetických požadavků na osvětlení

Základní možnosti stanovení spotřeby energie na osvětlení jsou znázorněny v následujícím schéma.



Obr. 7.1 Schéma znázorňující možné způsoby stanovení využití energie [14]

V normě ČSN EN 15193 jsou popsány základní charakteristiky osvětlovacích soustav v jednotlivých aplikačních oblastech. V tabulkách příloh jsou uvedeny směrné parametry hodnot pro rychlou a podrobnou metodu hodnocení energetické náročnosti osvětlení v řešeném objektu, směrné hodnoty měrných příkonů a měrných spotřeb elektrické energie. Pro účely stanovení energetické náročnosti umělého osvětlení se do normálního osvětlení započítává jak osvětlení pracovišť, tak osvětlení komunikací sloužících pro provoz budovy, technického zázemí sloužícího k provozu budovy a sociálního zázemí budovy.

Budova se zařadí do jedné z následujících kategorií, která nejlépe vystihuje charakter a využití budovy: [7]

- **administrativní budovy,**
- **vzdělávací zařízení,**
- **zdravotnická zařízení,**
- **průmyslové objekty,**
- **hotely,**
- **restaurace,**
- **prodejní prostory,**
- **sportovní zařízení.**



Dále se přiřadí způsob ovládání jednotlivých zón, místností či celých budov k jedné z následujících možností:

**R1 Manuální: dvupolohový spínač ZAP/VYP bez snímačů**

Svítlidla se zapínají a vypínají manuálním spínačem v dané místnosti.

**R2 Manuální: dvupolohový spínač ZAP/VYP s funkcí časového vypnutí (schodiště)**

V těchto systémech může automatika spočívat v automatickém vypnutí svítidel nejméně jednou za den (např. ve večerních hodinách).

**R3 Pohybový snímač: auto ZAP + stmívání**

Řídící systém zapíná svítidla automaticky vždy, když je detekována přítomnost osob v osvětlovaném prostoru a automaticky přechází do režimu sníženého provozu (úroveň stmívání max. 20% režimu normálního provozu) nejpozději do 5 min od poslední detekce přítomnosti osob. Když se po 5 min nezjistí detekci přítomnost osob, svítidla se automaticky vypínají.

**R4 Pohybový snímač: auto ZAP + auto VYP**

Řídící systém zapíná svítidla automaticky vždy, když se zjistí přítomnost osob v osvětlovaném prostoru a automaticky všechny plně vypíná nejpozději do 5 min od poslední detekce osob.

**R5 Pohybový snímač: manuálně ZAP + stmívání**

Svítlidla je možno zapnout jen pomocí manuálního spínače a pokud nedojde k manuálnímu vypnutí automaticky nastupuje režim sníženého provozu (úroveň stmívání max. 20% režimu normálního provozu) nejpozději do 5 min od poslední detekce přítomnosti osob. Když se po 5min nezjistí detekci přítomnost osob v prostoru, svítidla se automaticky vypínají.

**R6 Pohybový snímač: manuálně ZAP + auto VYP**

Svítlidla je možno zapnout jen pomocí manuálního spínače a pokud nedojde k manuálnímu vypnutí, řídicí systém automaticky vypíná všechny po 5 min od poslední detekce osob.

**R7 Fotobuňka: manuálně ZAP + stmívání na konstantní osvětlenost**

Svítlidla možno zapnout jen pomocí manuálního spínače v prostoru, dochází k automatickému stmívání na konstantní osvětlenost. Fotobuňka snímá jas osvětlovaných ploch.

**R8 Fotobuňka: spínání či stmívání v závislosti na denním světle**

Osvětlení se zapíná a vypíná (případně stmívá) v závislosti na denním světle. Fotobuňka svým směřováním snímá jas (intenzitu) denního světla.

**R9 Centrální ovládání osvětlení**

Když se osvětlení v dané místnosti ovládá současně s osvětlením v jiné místnosti, jde o centrální ovládání. Za centrální ovládání se bere i ovládání svítidel, která osvětlují plochu větší jak 30m<sup>2</sup> v rámci jedné místnosti. [7]

## 7.1 Výpočty spotřeby elektrické energie na osvětlení pomocí rychlé metody hodnocení [14],[7]

Rychlá metoda hodnotí spotřebu elektrické energie budovy jako celku. Tato metoda se používá v případě, kdy jsou k dispozici pouze hodnoty o celkové spotřebě elektrické energie na osvětlení v daném objektu a její podíl v celkové spotřebě objektu je malý. Při této metodě se ověří pouze to, zda daná spotřeba elektrické energie na osvětlení odpovídá směrným hodnotám spotřeby elektrické energie pro referenční objekt. Na základě výsledků z této metody nelze navrhnout úsporná opatření a nesmí se použít na bilanční hodnocení, tj. pro účely kolaudace.

Metodika výpočtu:

- **určení typu budovy**
- **určení typu osvětlovací soustavy a způsob jejího ovládání**
- **určení celkové využitelné podlahové plochy  $A$  ( $m^2$ )** - celková užitková podlahová plocha budovy se určí z vnitřních rozměrů obvodových stěn. Vnitřní příčky se zanedbávají. Neuvažují se neobývané sklepy a prostory bez osvětlení.
- **určení celkového elektrického příkonu svítidel  $P_n$  (kW)** - instalovaný příkon svítidel se určí jako suma příkonů jednotlivých svítidel  $P_i$  (W). Jmenovitý příkon svítidla udává jeho výrobce. Tento údaj je obvykle k dispozici v projektové dokumentaci či se zjistí ze štítku svítidla. Uvažuje se celkový příkon svítidla, ne příkon světelných zdrojů.

$$P_n = \frac{\sum P_i}{1000} \quad (7.1.1)$$

- **určení času využití denního světla  $t_D$  (hod/rok) a času využití osvětlení bez denního světla  $t_N$  (hod/rok)** - roční časy  $t_D$  a  $t_N$  se v závislosti na kategorii budovy určí z následující tabulky. Celkový roční čas využití budovy je součtem obou uvedených časů, tj.  $t_O = t_D + t_N$ .

Tab. 7.1 Roční čas využití denního světla pro jednotlivé kategorie budov

Druh budovy	$t_D$	$t_N$	$t_O$
Administrativní budovy	2 250	250	2 500
Vzdělávací zařízení	1 800	200	2 000
Zdravotnická zařízení	3 000	2 000	5 000
Hotely	3 000	2 000	5 000
Restaurace	1 250	1 250	2 500
Sportovní zařízení	2 000	2 000	4 000
Prodejní prostory	3 000	2 000	5 000
Průmyslové objekty	2 500	1 500	4 000

- **určení činitele využití denního světla  $F_D$  (-)** - činitel využití denního světla  $F_D$  se v závislosti na kategorii budovy a typu řízení určí z následující tabulky. Přitom se uvažuje, že nejméně 60% instalovaného příkonu spadá pod daný typ řízení, jinak se uvažuje manuální řízení R1.

Tab. 7.2 Činitel využití denního světla pro jednotlivé kategorie budov

Druh budovy	Typ řízení		
	R1 – R7	R8	R9
Administrativní budovy	1,0	0,9	1,0
Vzdělávací zařízení		0,8	
Zdravotnická zařízení		0,8	
Hotely		1,0	
Restaurace		1,0	
Sportovní zařízení		0,9	
Prodejní prostory		1,0	
Průmyslové objekty		0,9	

- **určení činitele obsazenosti budovy  $F_O$  (-)** - činitel obsazenosti budovy  $F_O$  se v závislosti na kategorii budovy a typu řízení určí z následující tabulky. Uvažuje se přitom aspoň s 1 pohybovým čidlem v každé místnosti a na každých 30m<sup>2</sup>. V automatickém provozu musí být aspoň 60% instalovaného příkonu osvětlení. V nemocnicích se i v rámci R1 uvažuje s určitým podílem automatického řízení snímači.

Tab. 7.3 Činitel obsazenosti pro jednotlivé kategorie budov

Druh budovy	Typ řízení		
	R1 – R2	R3 – R6	R7 – R9
Administrativní budovy	1,0	0,9	1,0
Vzdělávací zařízení	1,0	0,9	1,0
Zdravotnická zařízení	0,8	0,8	0,8
Hotely	0,7	1,0	0,7
Restaurace	1,0	1,0	1,0
Sportovní zařízení	1,0	1,0	1,0
Prodejní prostory	1,0	1,0	1,0
Průmyslové objekty	1,0	1,0	1,0

- **určení činitele konstantní osvětlenosti  $F_C$  (-)** - činitel konstantní osvětlenosti  $F_C$  zohledňuje pokles světelného toku v osvětlovaném prostoru v rámci daného cyklu údržby z důvodu znečištění svítidel, poklesu světelného toku zdrojů. Když je v daném prostoru instalovaný řídicí systém na konstantní osvětlenost, při poklesu světelného toku a udržování konstantní osvětlenosti roste spotřeba energie na osvětlení.  $F_C$  se tedy určuje z udržovacího činitele  $MF$  a vypočítá se následovně:

$$F_C = \frac{1 + MF}{2} \quad (7.1.2)$$

- **výpočet odhadu roční spotřeby energie  $W$  (kWh/rok)**

$$W_L = \frac{(P_n \cdot F_C) \cdot [(t_D \cdot F_O \cdot F_D) + (t_N \cdot F_O)]}{1000} \quad (7.1.3)$$

$$W_p = \frac{P_{pc} \cdot [t_y - (t_D + t_N)] + P_{em} \cdot t_{em}}{1000} \quad (7.1.4)$$

$$W = W_L + W_p, \quad (7.1.5)$$

- kde,  $W$  je celková roční spotřeba elektrické energie za osvětlení (kWh/rok),  
 $W_L$  je roční spotřeba elektrické energie pro osvětlení (kWh/rok),  
 $W_p$  je roční ztrátová elektrická energie za rok (kWh/rok),  
 $t_D$  je doba provozu s denním světlem (hod),  
 $t_N$  je doba provozu bez denního světla (hod),  
 $t_y$  je standardní roční doba, udávající počet hodin v průběhu jednoho roku (činí 8760 hod),  
 $t_{em}$  je doba nabíjení nouzového osvětlení (hod),  
 $P_n$  je celkový instalovaný příkon svítidel (W),  
 $P_{pc}$  je celkový instalovaný ztrátový příkon ovládacích zařízení (W),  
 $P_{em}$  je celkový instalovaný nabíjecí příkon svítidel nouzového osvětlení (W),  
 $F_D$  je činitel závislosti na denním světle (-),  
 $F_O$  je činitel závislosti na obsazení (-),  
 $F_C$  je činitel konstantní osvětlenosti (-).

- **výpočet číselného ukazatele energie na osvětlení LENI (kWh/m<sup>2</sup>/rok)**

Měrná spotřeba elektrické energie na osvětlení se vypočítá ze vztahu:

$$LENI = \frac{W}{A} \quad (7.1.6)$$

Energetická náročnost osvětlení (GJ/rok):

$$EP_{Light} = \frac{W}{277,8} \quad (7.1.7)$$

Orientační hodnoty LENI se v závislosti na typu budovy, způsobu ovládání světelné soustavy a její kvality osvětlení pohybují v rozmezí cca 40 až 50 kWh/m<sup>2</sup>/rok pro školy, vzdělávací zařízení a administrativní budovy do přibližně 130 kWh/m<sup>2</sup>/rok pro nemocnice a prodejní prostory, které můžeme považovat za energeticky nejnáročnější z pohledu osvětlení. Tyto hodnoty platí pro osvětlení standardní kvality. Je třeba ovšem uvést, že mnohé vzdělávací zařízení a administrativní budovy, co se týče osvětlení, jsou v současnosti poddimenzované.

## 7.2 Výpočty spotřeby elektrické energie na osvětlení pomocí podrobné metody hodnocení [14],[7]

Podrobná metoda umožňuje analyzovat spotřebu elektrické energie na osvětlení z pohledu prostorové a časové distribuce spotřeby elektrické energie na osvětlení. Při tomto způsobu hodnocení lze osvětlovací soustavu prostorově dělit podle typových prostorů, místností nebo zón. Typové místnosti jsou prostory s podobným charakterem využití, což jsou například komunikační prostory, kancelářské prostory, učebny apod. Spotřebu těchto prostorových jednotek lze pak posuzovat časově pro jednotlivá časová období, jako jsou rok, čtvrtletí,

měsíc nebo den. Tento způsob hodnocení umožňuje získat přehled o podílu spotřeby elektrické energie jednotlivých prostorových jednotek objektu.

Metodika výpočtu:

- **určení typu budovy**
- **sestavení výpočtové tabulky včetně seznamu místností** - pro zápis určených a vypočítaných činitelů se připraví tabulka se seznamem místností, které jsou předmětem výpočtu. Seznam místností se zpravidla připraví v souladu s projektovou dokumentací. Ve sloupcích tabulky budou všechny určované činitele s příslušnými vypočítanými hodnotami. Taková tabulka se dále použije ve výpočtovém programu.
- **určení typu řízení osvětlení v jednotlivých místnostech**
- **určení plochy A (m<sup>2</sup>)** - celková užitková podlahová plocha budovy se určí z vnitřních rozměrů obvodových stěn. Vnitřní příčky se zanedbávají. Neuvažují se neobývané sklepy a prostory bez osvětlení. Určí se podlahová plocha pro jednotlivé místnosti  $A_n$  (m<sup>2</sup>) z vnitřních rozměrů místností. Celková užitková podlahová plocha budovy je vztažný parametr a při certifikaci musí být její hodnota stejná pro všechny místa spotřeby. Proto ji jednoduše určí hlavní zpracovatel certifikátu.
- **určení osvětlenosti E<sub>m</sub> (lx)** - pro jednotlivé místnosti se určí předepsaná hodnota osvětlenosti podle projektové dokumentace (světelnětechnický projekt či projekt elektroinstalace). Když tyto podklady nejsou k dispozici, osvětlenost se určí dle normy ČSN EN 12464-1.
- **určení udržovacího činitele MF (-)** - pro každou místnost se určí hodnota udržovacího činitele dle projektové dokumentace (světelnětechnický projekt či projekt elektroinstalace). Pokud tyto podklady nejsou k dispozici, určí se hodnoty z publikace CIE 97 Údržba vnitřních osvětlovacích soustav.
- **určení kvality návrhu osvětlení LDDC (-)** - na základě posouzení řešení osvětlení se stanoví stupeň kvality návrhu osvětlení LDDC (*Lighting Design Criteria Class*) výběrem jedné z těchto možností (viz. „Příloha C“ TNI 73 0327):

\* základní splnění požadavků (udržovaná osvětlenost, UGR),

\*\* dobré splnění požadavků (vyloučení míhání, stroboskopického efektu, omezení oslnění odrazem, zlepšené podání barev, dobrá modelace světla, rozložení jasů),

\*\*\* úplné splnění požadavků (vše předchozí, zvláštní pozornost zdravotním záležitostem).

Kvalitativní třídy osvětlení volíme s ohledem na „vliv zrakových schopností osob v daném prostoru“ (viz. „Příloha D“ TNI 73 0327), protože všechny tyto okolnosti ovlivňují výběr srovnávacího etalonu.

- **určení celkového instalovaného příkonu svítidel P<sub>n</sub> (kW)** - celkový instalovaný příkon svítidel se určí jako suma příkonů jednotlivých svítidel  $P_i$  (W) v dané místnosti. Jmenovitý příkon svítidla udává jeho výrobce. Tento údaj je obvykle k dispozici v projektové dokumentaci či se zjistí ze štítku svítidla. Uvažuje se celkový příkon svítidla, ne příkon světelných zdrojů.

$$P_n = \frac{\sum P_i}{1000} \quad (7.2.1)$$

- **určení celkového pasivního příkonu svítidel P<sub>p</sub> (kW)** - celkový pasivní příkon svítidel se určí jako suma pasivních příkonů jednotlivých svítidel  $P_{pi}$  (W) v dané místnosti. Jmenovitý pasivní příkon svítidel udává výrobce. Tento údaj je obvykle k

dispozici v projektové dokumentaci, případně se zjistí z technické dokumentace svítidla či ze štítku svítidla. Pasivní příkon  $P_{pi}$  se přitom skládá ze dvou složek – pasivního příkonu na řízení  $P_{pc}$  a pasivního příkonu na nabíjení nouzových svítidel  $P_{em}$ .

$$P_p = \frac{\sum (P_{pc} + P_{em})}{1000} \quad (7.2.2)$$

- **určení činitele využití denního světla  $F_D$**  - činitel využití denního světla představuje míru snížení příkonu osvětlovací soustavy využitím dostupného denního světla. Metodika spočívá v rozdělení budovy na prostory s denním světlem a bez denního světla, dále se určí vliv parametrů místnosti, geometrie fasády, venkovní překážky bránící vstupu denního světla. Určí se činitel dostupnosti denního světla (zvláště pro vertikální fasádní okna a zvláště pro světlíky) jako funkce místních klimatických poměrů, udržované osvětlenosti a denního světla. Stanoví se činitel regulace osvětlení v závislosti od denního osvětlení. Z těchto parametrů se vypočte výsledná hodnota  $F_D$ .
- **určení činitele obsazenosti budovy  $F_O$**  - činitel obsazenosti budovy bere v úvahu vliv míry využívání prostoru budovy uživateli na spotřebu energie na osvětlení. V rámci instalovaného řízení se zohledňuje nasazení pohybových snímačů. Určí se činitel absence  $F_A$  dle typu budovy a typ řídicího systému  $F_{OC}$ . V závislosti na velikosti činitele absence se použije některý z těchto vztahů:

pokud  $0 \leq F_A < 0,2$

pokud  $0,2 \leq F_A < 0,9$

pokud  $0,9 \leq F_A \leq 1$

$$F_O = 1 - \frac{F_A(1 - F_{OC})}{0,2}$$

$$F_O = F_{OC} + 0,2 - F_A$$

$$F_O = (7 - 10F_{OC})(F_A - 1)$$

- **určení činitele konstantní osvětlenosti  $F_C$**  - je-li v daném prostoru (místnosti) instalovaný řídicí systém na konstantní hodnotu osvětlenosti, tak při poklesu světelného toku a udržování konstantní osvětlenosti roste spotřeba energie na osvětlení.  $F_C$  se určí z udržovacího činitele  $MF$  a vypočítá se následovně:

$$F_C = \frac{1 + MF}{2} \quad (7.2.3)$$

Když takovýto systém instalovaný není, hodnota  $F_C$  je rovna 1.

- **výpočet roční spotřeby energie osvětlovacích soustav  $W_{L,t}$  (kWh/období t) a výpočet roční spotřeby pasivní energie  $W_{P,t}$  (kWh/období t)**

$$W_{L,t} = \sum_{n=1}^k W_{L,n,t} \quad W_{P,t} = \sum_{n=1}^k W_{P,n,t} \quad (7.2.4)$$

$$W_{L,n,t} = \frac{(P_n \cdot F_{C,n}) \cdot [(t_{D,t} \cdot F_{O,n} \cdot F_{D,n}) + (t_{N,t} \cdot F_{O,n})]}{1000} \quad (7.2.5)$$

$$W_{P,n,t} = \frac{P_{pc} \cdot [t_t - (t_{D,t} + t_{N,t})] + P_{em} \cdot t_{em}}{1000}, \quad (7.2.6)$$

- kde,  $W_{L,t}$  je spotřeba elektrické energie pro osvětlení za období  $t$  (kWh),  
 $W_{P,t}$  je ztrátová elektrická energie za období  $t$  (kWh),  
 $t_{D,t}$  je doba provozu s denním světlem za období  $t$  (hod),  
 $t_{N,t}$  je doba provozu bez denního světla za období  $t$  (hod),  
 $t_t$  je celková délka období  $t$  (hod),  
 $t_{em}$  je doba nabíjení nouzového osvětlení (hod),  
 $P_n$  je celkový instalovaný příkon svítidel v zóně  $n$  (W),  
 $P_{pc}$  je celkový instalovaný ztrátový příkon ovládacích zařízení v zóně  $n$  (W),  
 $P_{em}$  je celkový instalovaný nabíjecí příkon svítidel nouzového osvětlení v zóně  $n$  (W),  
 $F_{D,n}$  je číselník závislosti na denním světle pro zónu  $n$  (-),  
 $F_{O,n}$  je číselník závislosti na obsazení pro zónu  $n$  (-),  
 $F_{C,n}$  je číselník konstantní osvětlenosti pro zónu  $n$  (-).

- **výpočet celkové spotřeby energie na osvětlení  $W_t$  (kWh/období  $t$ )**

$$W_t = W_{L,t} + W_{P,t} \quad (7.2.7)$$

- **výpočet celkové roční spotřeby energie pro celou budovu (kWh/rok)** - vztah pro výpočet celkové roční spotřeby energie na osvětlení, vypočítaný pro jednotlivé místnosti budovy zvlášť se sumarizuje pro celou budovu za účelem získání celkové roční spotřeby energie dané budovy.

$$W = \sum_{t=1}^m W_t \quad (7.2.8)$$

- **výpočet číselného ukazatele energie na osvětlení LENI (kWh/m<sup>2</sup>/rok)** - roční spotřebu energie na osvětlení je třeba vztáhnout na podlahový výměr budovy, tzn. přepočítat na plochu budovy  $A$ .

$$LENI = \frac{W}{A} \quad (7.2.9)$$

- **výpočet měrné roční spotřeby energie na osvětlení  $\eta_E$  (kWh/m<sup>2</sup>/lx/rok)** - číselný ukazatel LENI se značně liší pro různé typy budov. Je to z toho důvodu, že různé budovy mají různou strukturu místností s různými požadavky na osvětlení. Dá se však zavést univerzální ukazatel, který by na typu budovy nebyl závislý a který by v jednotlivých místnostech bral v úvahu normativní požadavky na udržovanou osvětlenost  $E_m$  (lx). Tímto ukazatelem je měrná roční spotřeba energie na osvětlení  $\eta_E$  (lm.rok/kWh), která se vypočítá:

$$\eta_E = \frac{W}{\sum E_m \cdot A} \quad (7.3.0)$$

kde jmenovatel sumarizuje údaje pro jednotlivé místnosti. Obrácená hodnota měrné roční spotřeby energie na osvětlení (lm.rok/kWh) je obdobou měrného výkonu (lm/W).

Pokud nejsou stanoveny v rámci národní legislativy hodnoty parametrů  $t_D$ ,  $t_N$ ,  $F_C$ ,  $F_D$ ,  $F_O$ ,  $W_P$ , použije se pro jejich určení následující tabulka.

**Tab. 7.4 Směrné hodnoty a kritéria pro návrh osvětlení [14]**

	Kvalitativní třída	Ztráty		$P_N$ [W/m <sup>2</sup> ]	$t_D$ h	$t_N$ h	$F_C$		$F_D$		osvětlení s cte		
		Ztráty Nouzové $P_{Res}$ [kWh/(m <sup>2</sup> × rok)]	Ztráty Ovládací $P_{Ov}$ [kWh/(m <sup>2</sup> × rok)]				bez cte	s cte	Ruční	Auto	LENI	LENI	Mezní hodnota
Kancelář	*	1	5	15	2 250	250	1	0,9	1	0,9	1	38,3	32,2
	**	1	5	20	2 250	250	1	0,9	1	0,9	1	49,6	41,4
	***	1	5	25	2 250	250	1	0,9	1	0,9	1	60,8	50,6
Vzdělávací zařízení	*	1	5	15	1 800	200	1	0,9	1	0,9	1	31,9	24,8
	**	1	5	20	1 800	200	1	0,9	1	0,9	1	40,9	31,4
	***	1	5	25	1 800	200	1	0,9	1	0,9	1	49,9	38,1
Nemocnice zdravotnická zařízení	*	1	5	15	3 000	2 000	1	0,9	0,9	0,8	1	63,9	50,7
	**	1	5	25	3 000	2 000	1	0,9	0,9	0,8	1	104,4	82,3
	***	1	5	35	3 000	2 000	1	0,9	0,9	0,8	1	144,9	114,0
Hotely	*	1	5	10	3 000	2 000	1	0,9	0,7	0,7	1	34,6	34,6
	**	1	5	20	3 000	2 000	1	0,9	0,7	0,7	1	65,1	65,1
	***	1	5	30	3 000	2 000	1	0,9	0,7	0,7	1	97,6	97,6
Restaurace	*	1	5	10	1 250	1 250	1	0,9	1	1	1	27,1	-
	**	1	5	25	1 250	1 250	1	0,9	1	1	1	60,8	-
	***	1	5	35	1 250	1 250	1	0,9	1	1	1	83,3	-
Sportovní zařízení	*	1	5	10	2 000	2 000	1	0,9	1	1	1	39,7	37,9
	**	1	5	20	2 000	2 000	1	0,9	1	1	1	75,7	72,1
	***	1	5	30	2 000	2 000	1	0,9	1	1	1	111,7	106,3
Prodejny	*	1	5	15	3 000	2 000	1	0,9	1	1	1	70,6	-
	**	1	5	25	3 000	2 000	1	0,9	1	1	1	115,6	-
	***	1	5	35	3 000	2 000	1	0,9	1	1	1	160,6	-
Průmyslové objekty	*	1	5	10	2 500	1 500	1	0,9	1	1	1	39,7	37,5
	**	1	5	20	2 500	1 500	1	0,9	1	1	1	75,7	71,2
	***	1	5	30	2 500	1 500	1	0,9	1	1	1	111,7	105,0



### 7.3 Rozdíly ve výstupech rychlé a podrobné metody na určování energetických požadavků na osvětlení [14],[7]

V souladu s normou ČSN EN 15193 se pro stanovení ukazatele energetické náročnosti osvětlení použije jedna z dvojice metod, které se liší přesností, časovou náročností a také vypovídací hodnotou.

**Rychlá metoda** se dá použít na hrubý odhad spotřeby energie s výpočtem pro budovu jako celek. Při výpočtu se uvažují standardní (normativní) údaje. Metoda je použitelná pro účely rychlých odhadů, a to zejména na *projektové hodnocení*.

**Podrobná metoda** je použitelná na přesnější odhad spotřeby energie a výpočet každé jednotlivé místnosti zvlášť, a to v ročním, měsíčním nebo hodinovém intervale. V porovnání s rychlou metodou klade důraz na komplexnější a podrobnější určení činitelů, které snižují velikost skutečného využívaného příkonu oproti celkovému instalovanému příkonu osvětlovací soustavy použitého v rychlé metodě. Dále také přesněji stanovuje určení času využívání denního světla. Na výpočet se aplikují reálné údaje získané z projektových podkladů nebo údaje získané sběrem z terénu. Metoda se používá na *bilanční hodnocení budov, tj. ke kolaudaci*.

Existuje předpoklad, a první zkušenosti s certifikací budov to skutečně dokazují, že rychlá metoda vede ve všeobecnosti k podstatně vyšším hodnotám ukazatele LENI než podrobná metoda. Rychlá metoda bere v úvahu pouze instalovaný příkon osvětlovací soustavy, v budovách bez snímačů hodnota příkonu není v rámci výpočtu nijak snižována, výsledkem je nereálně vysoká hodnota, která se od podrobné metody může lišit až o dva i víc stupňů energetické škály. Při projektovém hodnocení by tímto způsobem byla většina budov značně podhodnocená. Dá se očekávat, že rychlá metoda bude podrobena revizi.

### 7.4 Software na výpočet spotřeby energie na osvětlení [7]

Jak je zřejmé z metodiky a postupu výpočtu v předcházejících kapitolách, certifikant se při výpočtu spotřeby energie na osvětlení bez softwarových nástrojů neobejde.

Souběžně s přípravou národních metodik se připravuje i softwarová podpora. V jednotlivých zemích se však přístupy různí. Rozdíly v národní legislativě a metodice prakticky neumožňují používat stejný software v celé Evropě, a to přesto, že původním záměrem směrnice bylo připravit stejné podmínky pro všechny členské státy EU. I když filozofie je stejná, různá klimatotechnická data, různé přístupy při definování energetických tříd a různý rozsah a členění těchto tříd představují značně rozlišné podmínky a přístupy. Tvůrci softwaru proto nejprve řeší výpočetní jádro, s využitím kterého připravují různé národní verze. V ČR je tento proces centralizovaný a tvoří se národní kalkulační nástroj pověřeným zpracovatelem.

Současné přístupy v oblasti tvorby softwaru se dají zobecnit takto:

- *Jeden software pro všechny místa spotřeby*

Výhodou je úplná kompatibilita všech součástí a automatická výměna údajů mezi jednotlivými částmi. Jak však ukazuje praxe, společné sdílení takového software různými certifikanty je komplikované až nemožné. V některých testovacích verzích se zjistilo, že

pokud nejsou vloženy všechny vstupní údaje pro všechny místa spotřeby, další postup řešení je prakticky zablokovaný.

- *Různé software pro jednotlivé místa spotřeby*

Pro každé místo spotřeby je k dispozici specializovaný software, který je připravován odborníky na danou oblast. Výhodou je nezávislost a úplná samostatná použitelnost. Určitou nevýhodou jsou komplikace při výměně údajů mezi jednotlivými místy spotřeby.

Řešení vzájemné kompatibility spočívá v tvorbě samostatných modulů, které by se daly spojit prostřednictvím nadřazeného software a s využitím výměnných formátů souborů. V současnosti je tato problematika ve stádiu přípravy.

Při používání softwarových produktů je třeba si uvědomit, že certifikant v žádném případě nesmí svoji činnost omezit na plnění vstupních údajů do softwaru a po spuštění výpočtu přímo tisknout výsledky. Certifikant musí mít nad průběhem výpočtu absolutní kontrolu, musí si stát za vypočítanými mezivýsledky a musí umět posoudit jejich platnost a smysl. Software je skutečně jen pomůckou, ne nástrojem na náhradu celé duševní práce certifikanta. Certifikant musí znát všechny metodologické údaje o software, co program počítá a jakým způsobem, jaké má možnosti a omezení.

Ukázky výpočetních programů jsou uvedeny viz Příloha č. 6 a č. 7.

## 7.5 Výpočty tepelných zisků z osvětlovacích soustav [15]

Spotřeba energie na osvětlení je určena spotřebou elektřiny. Měrný tepelný výkon ostatních osvětlovacích těles (dekorativní osvětlení, místní přídatné osvětlení atd.) není započten, protože není součástí standardního osvětlení zóny nebo budovy.

Pro každou zónu budovy „z“ a každé výpočtové období „n“ se průměrný tepelný výkon z osvětlení stanoví ze vztahu:

$$\phi_{LI,mean} = f_{e,r,LI} \cdot \phi_{LI,n} \quad (7.5.1)$$

kde,

$\Phi_{LI,mean}$

průměrný tepelný výkon z osvětlení [W],

$f_{e,r,LI}$

podíl spotřeby energie, kdy teplo není odvedeno ze zóny odsávacím ventilátorem (uvolněné teplo z osvětlení odvedené v průběhu doby, kdy je zóna chlazena představuje využitelnou tepelnou ztrátu) [-],

$\Phi_{LI,n}$

průměrný příkon elektřiny na osvětlení v uvažovaném výpočtovém období „n“ [W].

U svítidel se předpokládá, že se celý jejich elektrický příkon přemění na tepelnou energii.

U klasických žárovek, u kterých účinnost dosahuje pouhých 3-5 %, tzn. méně než 5 % elektrické energie je přeměněno na světelnou energii, tento předpoklad téměř zcela odpovídá skutečnosti.

Spotřeba elektřiny se pro každé uvažované výpočtové období „n“ stanoví podle:

$$\phi_{LI,n} = \frac{(1 + d_{LI,n}) \cdot W_{light}}{t_{h,y}} \cdot 1000, \quad (7.5.2)$$

kde,	
$\Phi_{LL,n}$	průměrný příkon elektřiny na osvětlení v uvažovaném výpočtovém období [W],
$d_{LL,n}$	kolísání spotřeby elektřiny s ohledem na roční průměr pro každé uvažované výpočtové období $n$ [-],
$W_{light}$	roční spotřeba elektřiny na osvětlení se stanoví podle příslušných technických norem [kWh/rok],
$t_{h,y}$	počet hodin v roce ( $t_{h,y} = 8760$ hod). Tato hodnota je uvedena pro přepočítání roční spotřeby elektřiny na osvětlení z kWh/rok na W v uvažovaném výpočtovém období „ $n$ “.

Tab. 7.5 Národní měsíční hodnoty parametru  $d_{LL,n}$

Měsíc	$d_{LL,n}$	Měsíc	$d_{LL,n}$
Leden	-0,9	Červenec	-0,94
Únor	-0,91	Srpen	-0,93
Březen	-0,92	Září	-0,91
Duben	-0,93	Říjen	-0,91
Květen	-0,94	Listopad	-0,89
Červen	-0,94	Prosinec	-0,88

Faktor  $d_{LL,n}$  zohledňuje kolísání nabídky denního světla v průběhu roku (př. v měsíci lednu menší nabídka denního světla než v červenci).

Roční spotřeba elektřiny na osvětlení se stanoví ze vztahu:

$$W_{light} = 6A_{gross} + \frac{t_u \sum P_n}{1000}, \quad (7.5.3)$$

kde,	
$W_{light}$	roční spotřeba elektřiny na osvětlení (kWh/rok),
$A_{gross}$	celková podlahová plocha zóny (m <sup>2</sup> ),
$t_u$	účinné využití osvětlení za rok (hod),
$P_n$	celkový instalovaný příkon osvětlení v zóně (W).

Člen ( $6.A_{gross}$ ) představuje odhad spotřeby energie pro nouzové a záložní osvětlení (roční spotřeba energie pro nouzové a záložní osvětlení vztahovaná na 1 m<sup>2</sup> užité plochy je 6 kWh/m<sup>2</sup>/rok). Druhý člen ve vzorci představuje užitý příkon osvětlení za rok tj. se zohledněním doby užívání prostoru, nabídky přirozeného světla v průběhu dne aj. Skutečné časové využití za rok se stanoví ze vztahu:

$$t_u = t_D \cdot F_D \cdot F_O + t_N \cdot F_O, \quad (7.5.4)$$

kde,	
$T_u$	účinné využití osvětlení za rok (hod),
$T_D$	doba využití za denního světla za rok (hod),
$t_n$	doba využití bez denního světla za rok (hod),
$F_D$	činitel závislosti na denním světle (-),
$F_O$	činitel obsazenosti (-).

Činitel závislosti na denním světle  $F_D$  představuje potenciál snížení potřeby energie na osvětlení (pro budovu bez oken a jiného přístupu denního světla je  $F_D = 1$ ). Součinitel  $F_D$  zohledňuje skutečnost, že část požadované míry osvětlení je zajištěna přirozeným světlem. Koeficienty  $t_D$  a  $t_N$  jsou odhadem doby užívání prostor v průběhu dne ( $t_D$ ) a noci ( $t_N$ ) za rok.

## 7.6 Zvláštní charaktery budov

Ukazují se i další prvky, vstupující do hodnocení energetické náročnosti osvětlení a tím i do možného hodnocení budovy, jak uvádí „Příloha E“ TNI 73 0327 např:

- V objektu je vymíněno věcné břemeno průchodu s provozem 24 hodin. Tento průchod má délku několik desítek metrů, je na něm schodiště a je provozován 24 hodin denně. V hodnocení pro porovnávání je nutno tuto část posuzovat samostatně, průchod není nutný pro funkci vlastní budovy.
- Části objektu jsou „prosvětlovány“ pro účely večerního panoramatu města; opět je nutno tuto část posuzovat samostatně, toto osvětlení není nutné pro funkci vlastní budovy a je obvykle vázáno na budovu jako věcné břemeno.
- U objektu administrativní budovy (nákupního centra, atd.) si jako podmínku město vymíní rozšíření parkovacího prostoru, například o dvě patra. Zde nastávají dokonce varianty:
  - Objekt parkovacího domu je samostatný; v tomto případě je pro srovnávací hodnocení energetické náročnosti bezproblémový;
  - Objekt parkovacího domu je součástí administrativní budovy, obvykle jako podzemní garáže. V tomto případě jsou z hlediska funkce posuzovaného objektu „nadbytečná“ a rovněž je nutno je hodnotit zvlášť.

## 7.7 Protokol průkazu energetické náročnosti budovy [15]

### Základní informace a legislativa

Průkaz energetické náročnosti budovy není součástí energetického auditu, avšak z důvodu úspor energií a hodnocení energetické náročnosti budov je zapotřebí se o něm zmínit pro vysvětlení dalších pojmů a náležitostí v této práci.

I když byl zhotoven energetický audit není možné na základě tohoto podkladu vydat průkaz energetické náročnosti budovy. Energetický audit je zaměřen na něco jiného a řadu informací obsažených v průkazu vůbec neřeší. Odlišná je i metodika výpočtu a z energetického auditu tak lze použít jen určitá data pro vystavení průkazu energetické náročnosti budovy. Pokud je zapotřebí zpracovat energetický audit a zároveň i průkaz energetické náročnosti, tak v rámci úspor je možné tyto dvě činnosti sladit a oba dokumenty lze tedy pořídit levněji.

Průkaz energetické náročnosti budovy slouží pro jednoduché a přehledné vyhodnocení domu z hlediska spotřeby. Oproti původnímu energetickému průkazu budovy, hodnotí budovu z hlediska všech energií, které do budovy vstupují.

Jedná se o energie na vytápění, ohřev teplé vody, chlazení, větrání a osvětlení.

**Legislativa:**

Průkaz energetické náročnosti budovy vychází ze zákona č.177/2006 Sb., který je novelou zákona

č.406/2000 Sb.

Prováděcím předpisem, který určuje formu a způsob vypracování průkazu energetické náročnosti budovy, je vyhláška č.148/2007 Sb.

**Protokol průkazu energetické náročnosti budovy by měl obsahovat tyto údaje:****a) identifikační údaje budovy**

V této části průkazu jsou zahrnuty základní údaje o budově (adresa budovy, účel budovy, vlastník, provozovatel, kód obce, parcelní číslo, IČO, telefon a případně další kontaktní údaje).

**b) typ budovy**

Zde se uvádí přímo typ budovy, pro který účel je budova určena (nemocnice, rodinný dům, administrativní budova, bytový dům, hotel a restaurace, budova pro vzdělání, budova pro velkoobchod a maloobchod a sportovní zařízení). Pokud budova neodpovídá ani jednomu z uvedených typů, je zapotřebí zvlášť do protokolu daný účel budovy popsat.

**c) užití energie v budově**

Uvádí se zde stručný popis energetického a technického popisu budovy, druhy energie užívané v budově a hodnocení dílčí energetické náročnosti budovy dle vyhlášky 148/2007 Sb.

**d) technické údaje budovy**

Obsahem této části je například stručný popis budovy, tepelně technické vlastnosti budovy, vytápění, větrání a klimatizace, příprava teplé vody, osvětlení, dílčí hodnocení energetické náročnosti osvětlení a další potřebné údaje stanovené vyhláškou 148/2007 sb.

**e) energetická bilance budovy pro standardní užívání**

V této části se uvádí dodané energie z vnější strany a energie vyrobené v budově.

**g) doporučená technicky a ekonomicky vhodná opatření pro snížení energetické náročnosti budovy**

V tomto bodě se uvádí veškerá vhodná opatření s vyčíslením možných úspor energie, tak i investičními náklady a případnou dobou návratnosti.

**h) další údaje**

V poslední části protokolu jsou uvedeny podklady, které posloužily k vypracování průkazu ENB, dále jsou zde uvedeny doplňující údaje k budově a hlavně také údaje o vypracování (datum a podpis).

Součástí protokolu je také již zmiňované grafické znázornění průkazu ENB. Veškeré potřebné specifikace jak by měl průkaz vypadat (grafické znázornění, tvar, velikost průkazu), jsou uvedeny taktéž ve vyhlášce 148/2007 Sb.

Slovní vyjádření jednotlivých tříd:

A – Mimořádně úsporná

B – Úsporná

C – Vyhovující

D – Nevyhovující

E – Nehospodárná

F – Velmi nehospodárná

G – Mimořádně nehospodárná

PRŮKAZ ENERGETICKÉ NÁROČNOSTI BUDOVY				
Typ budovy, místní označení		Hodnocení budovy		
Adresa budovy		stávající stav	po realizaci doporučení	
Celková podlahová plocha:				
Měrná vypočtená roční spotřeba energie v kWh/m <sup>2</sup> rok		XY	XY	
Celková vypočtená roční dodaná energie v GJ		XY	XY	
Podíl dodané energie připadající na:				
Vytápění	Chlazení	Větrání	Teplá voda	Osvětlení
%	%	%	%	%
Doba platnosti průkazu				
Průkaz vypracoval		Jméno a příjmení Osvědčení č.		

Obr. 7.2 Grafické znázornění průkazu ENB

## Literatura

- [1] MONZER, L. Umělé osvětlení v obytných prostorech. *Světlo – časopis pro světelnou techniku a osvětlování* [online]. 2002/02. Dostupný z WWW: <[http://www.odbornecasopisy.cz/index.php?id\\_document=22942](http://www.odbornecasopisy.cz/index.php?id_document=22942)>.
- [2] MONZER, L. Umělé osvětlení v obytných prostorech – volba intenzity osvětlení. *Světlo – časopis pro světelnou techniku a osvětlování* [online]. 2002/03. Dostupný z WWW: <[http://www.odbornecasopisy.cz/index.php?id\\_document=22993](http://www.odbornecasopisy.cz/index.php?id_document=22993)>.
- [3] SOKANSKÝ, K. *Racionalizace v osvětlování kancelářských, školských a bytových prostor*. Publikace ČEA, Ostrava 2004. Dostupný z WWW:<[http://www.csorsostrava.cz/index\\_publicace.htm](http://www.csorsostrava.cz/index_publicace.htm)>.
- [4] HABEL, J.; ŽÁK, P. Problematika mezopického vidění. *Světlo – časopis pro světelnou techniku a osvětlování* [online]. 2007/06. Dostupný z WWW: <<http://www.odbornecasopisy.cz/res/pdf/36187.pdf>>.
- [5] BAXANT, P. *Světelná technika současnosti a budoucí trendy v osvětlování*. Habilitační přednáška. Ústav elektroenergetiky. FEKT VUT v Brně.
- [6] ČSN EN 12464-1. *Světlo a osvětlení – Osvětlení pracovních prostorů – Část 1: Vnitřní pracovní prostory*. 2003.
- [7] GAŠPAROVSKÝ, D. *Potenciál energetických úspor v budovách na bývanie a v nebytových nevýrobných budovách*. November 2008.
- [8] SOKANSKÝ, K. *Dominantní vlivy ovlivňující spotřebu elektrické energie osvětlovacích soustav*. Publikace ČEA, Ostrava 2007. Dostupný z WWW:<[http://www.csorsostrava.cz/index\\_publicace.htm](http://www.csorsostrava.cz/index_publicace.htm)>.
- [9] JUKLOVÁ, M. Právní požadavky na osvětlení a české technické normy – část 2. *Světlo – časopis pro světelnou techniku a osvětlování* [online]. 2008/04. Dostupný z WWW: <[http://www.odbornecasopisy.cz/index.php?id\\_document=37586](http://www.odbornecasopisy.cz/index.php?id_document=37586)>.
- [10] SYROVÁ, M. Nové normy pro osvětlení. *Světlo – časopis pro světelnou techniku a osvětlování* [online]. 2008/05. Dostupný z WWW: <[http://www.odbornecasopisy.cz/index.php?id\\_document=37965](http://www.odbornecasopisy.cz/index.php?id_document=37965)>.
- [11] CIE 97-2005. *Směrnice k údržbě vnitřních osvětlovacích soustav*. 2006.
- [12] CIE 97-1992. *Údržba vnitřních osvětlovacích soustav*. 2006.
- [13] SLEZÁK, J. *Měření osvětlení*. ZÚ Pardubice - Východní pobočka.
- [14] ČSN TNI 15 193. *Energetická náročnost budov – Energetické požadavky na osvětlení*. 2008.
- [15] Vyhláška č. 148/2007 Sb., *o energetické náročnosti budov*. 2007.

[16] HORÁK, M. *Energetický audit*. Diplomová práce. FEI VŠB-TU Ostrava. 2009.

[17] TNI 73 0327. *Energetická náročnost budov – Energetické požadavky na osvětlení*. 2009.



## **Seznam příloh**

Příloha č.1 - Příklad katalogového listu svítidla + upozornění na důležitá data

Příloha č.2 - Příklad katalogového listu předřadníku + upozornění na důležitá data

Příloha č.3 - Příklad katalogového listu světelného zdroje + upozornění na důležitá data

Příloha č.4 - Příklad světelně-technického výpočtu + upozornění na důležitá data

Příloha č.5 - Příklad světelně-technického měření + upozornění na důležitá data

Příloha č.6 - Příklad použití rychlé metody + upozornění na důležitá data

Příloha č.7 - Příklad použití podrobné metody + upozornění na důležitá data

*Příloha č. 1*

příklad katalogového listu svítidla  
+ upozornění na důležitá data

*Příloha č. 2*

příklad katalogového listu předřadníku  
+ upozornění na důležitá data

*Příloha č. 3*

příklad katalogového listu světelného  
zdroje  
+ upozornění na důležitá data

*Příloha č. 4*

příklad světelně-technického projektu  
+ upozornění na důležitá data

*Příloha č. 5*

příklad světelně-technického měření  
+ upozornění na důležitá data

## *Příloha č. 6*

příklad použití rychlé metody  
+ upozornění na důležitá data

*Příloha č. 7*

příklad použití podrobné metody  
+ upozornění na důležitá data